

THÈSES

*présentées à la Faculté des Sciences de l'Université de Montpellier
pour obtenir le grade de Docteur d'Université
Mention Sciences*

par

BIENVENU FOU DA

Diplômé de l'École Nationale Technique des Mines - ALÈS

1^{re} THÈSE

Contribution à l'Étude Hydrogéologique de la Rive Droite du Rhône

entre Montfaucon et Villeneuve-les-Avignon (Gard)

2^{me} THÈSE

Proposition donnée par la Faculté

*Soutenues publiquement le 22 Décembre 1965
devant la Commission d'examen*

JURY :

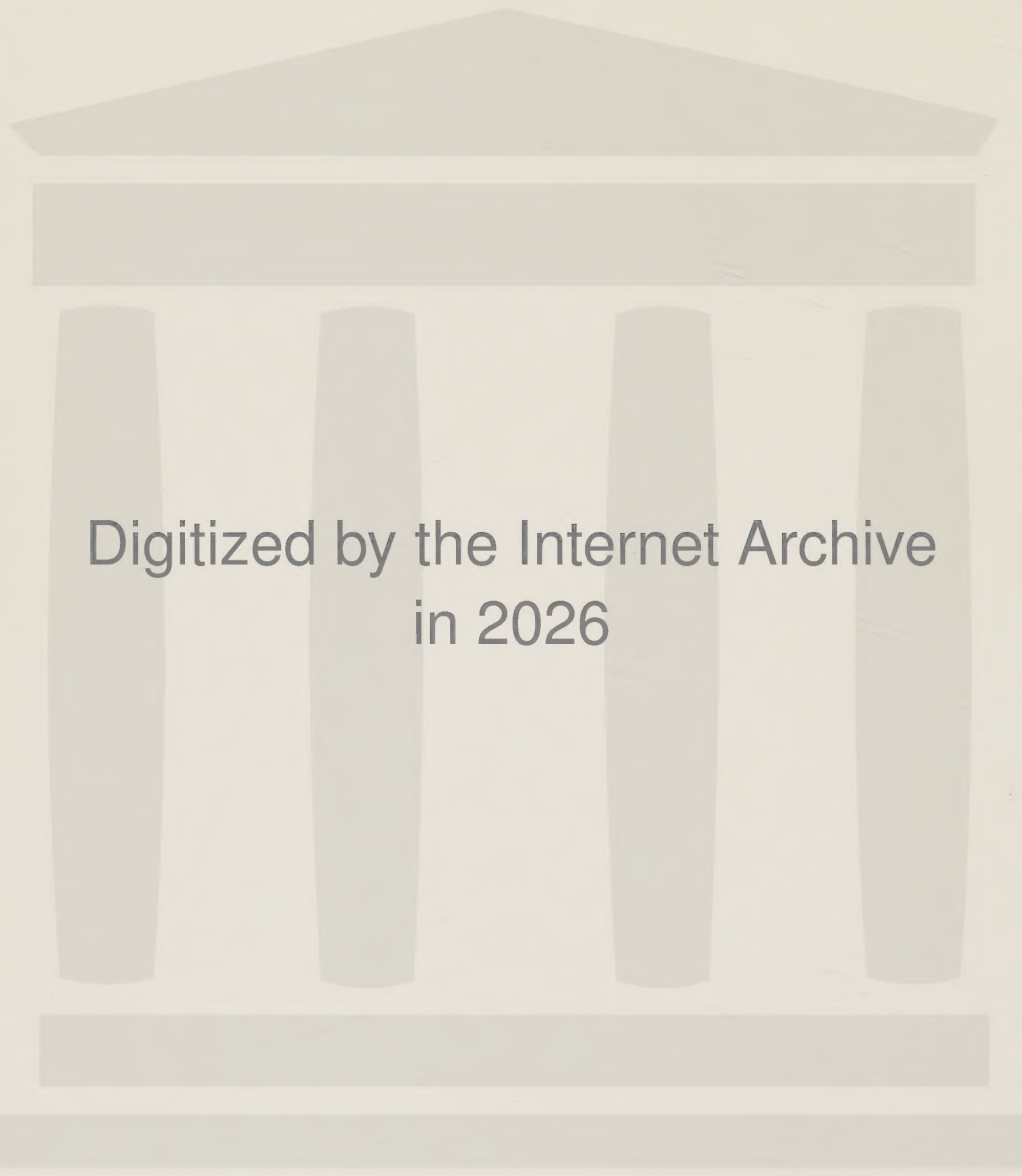
MM. J. AVIAS,

Président

P. DEMANGEON

A. LEFEBVRE

} Examineurs



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555624_0021

T H E S E S

présentées

A LA FACULTE DES SCIENCES DE MONTPELLIER

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR D'UNIVERSITE

(Hydrogéologie et Géologie appliquée aux Travaux Publics)

par

Bienvenu FOUDA

Diplômé de l'Ecole Nationale Technique des Mines d'ALÈS

1^{ère} THESE : CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA RIVE DROITE DU
RHONE ENTRE MONTFAUCON ET VILLENEUVE-LES-AVIGNON -

2^{ème} THESE : PROPOSITION DONNEE PAR LA FACULTE.

Soutenues le	Décembre 1965	devant la Commission d'examen
MM.	J. AVIAS	- Président
	P. DEMANGEON	- Examineur
	A. LEFEBVRE	- Examineur

L I S T E des P R O F E S S E U R S

DOYEN : B. CHARLES

ASSESSEURS : R. JOUTY - M. FALGUEIRETTES

DOYEN HONORAIRE : P. MATHIAS

PROFESSEURS HONORAIRES : R. JACQUES E. TURRIERE J. GRANIER
 M. CASTERAS J. SOULA
 E. CARRIERE G. DENIZOT

PROFESSEURS TITULAIRES :

M. MOUSSERON	Chimie
M. L. EMBERGER	Botanique
M. Ch. BOUHET	Physique
M. P. MATHIAS	Zoologie et Biologie Générale
M. JP. ROIG	Physique
M. P. CHATELAIN	Minéralogie et Cristallographie
Mlle O. TUZET	Zoologie et Biologie Générale
Mlle G. CAUQUIL	Chimie
M. G. COUCHET	Mécanique Supérieure
M. J. SALVINIEN	Chimie-Physique
Mlle A.M VERGNOUX	Physique
M. J. AVIAS	Géologie
M. P. VIELES	Chimie
M. J. RABINOVITCH	Physique (C.S.U.)
M. E. KAHANE	Chimie Biologique

M. J.J. MOREAU ;	Mécanique Rationnelle
M. B. CHARLES	Mathématiques Pures
M. J. MOTTE	Botanique
M. R. JOUTY	Physique
M. R. LEGENDRE	Zoologie
M. C. CHALIN	Physique
M. I. ASSENMACHER	Physiologie Animale
M. B. PISTOULET	Physique
M. Ch. ROUMIEU	Analyse Supérieure
M. A. POTIER	Chimie Minérale
M. R. LAFONT	Physique
M. R. JACQUIER	Chimie
M. J. FALGUEIRETTES	Minéralogie
Mme CHARLES	Mathématiques
M. P. CAILLON	Physique
M. J. ROUZAUD	Chimie
M. Ch. SAUVAGE	Botanique
M. P. DUMONTET	Physique
M. H. CHRISTOL	Chimie

PROFESSEURS SANS CHAIRE :

Mme M. DE POUCQUES	Botanique (C.S.U.)
M. P. MURAOUR	Géophysique appliquée
Mme M. LAFON	Mathématiques
M. M. MATTAUER	Géologie
M. G. TOURNE	Chimie
M. L. EUZET	Zoologie (C.S.U.)
M. J. REMY	Géologie
Mme G. VERNET	Biologie Animale
M. H. ANDRILLAT	Astronomie

M. P. DEMANGEON	Géologie
M. A. BONNET	Botanique
M. J.P. LAFON	Mathématiques
M. C. DELOUPY	Physique
M.L. GRAMBAST	Botanique
M. A. SAVELLI	Physique

MAITRES DE CONFERENCES :

Mlle PIREYRE	Botanique
Mme Ch. DUBOUL-RAZAVET	Géologie (C.S.U.)
M. E. GROUBERT	Physique
Mme H. GUASTALLA	Biologie Physico-Chimique
M. A. STEINER	Psychophysiologie
M. G. LAMATY	Chimie
M. R. GAUFRES	Chimie
M. F. PROUST	Géologie
M.A. BASSOMPIERRE	Physique
M. A. MARTINEAU	Mathématiques
M. R. MARTY	Physiologie Animale
M.M. MAURIN	Chimie
M. J.J. SOULIER	Chimie (C.S.U.)
M. J. PARIS	Biologie Animale (C.S.U.)
M.P. MOLINO	Mathématiques (C.S.U.)
M. ROBY	Mathématiques (C.S.U.)

CHARGES D'ENSEIGNEMENT :

M. LEFRANC	Mathématiques
M. A. STURER	Mathématiques
Mlle A. BAILLETTE	Mathématiques (C.S.U.)
M. CECCHI	Physique (C.S.U.)
M. BOUGNOT	Physique (C.S.U.)

SECRETAIRE PRINCIPAL :

M. E. SIAU	
------------------	--

TABLE DES MATIERES

Pages :

Avant-Propos	1
--------------------	---

INTRODUCTION.

Situation géographique	3
------------------------------	---

CHAPITRE I - ETUDE DES FACIES GEOLOGIQUES..... 5

A - <u>Répartition géographique des dif-</u> <u>férents terrains</u>	6
---	---

- 1) Crétacé
- 2) Miocène
- 3) Pliocène
- 4) Quaternaire

B - <u>Description des faciès</u>	7
---	---

I - <u>Etude du calcaire du Crétacé</u>	7
---	---

- 1) Massif de Villeneuve-les-Avi-
gnon
- 2) Massif de l'Aspre
- 3) La Barre de Roquemaure

II - <u>Etude du Tertiaire</u>	11
--------------------------------------	----

- 1) Le Miocène
- 2) Le Pliocène

III - <u>Etude du Quaternaire</u>	16
---	----

- 1) Quaternaire récent
- 2) Quaternaire moyen et ancien..

IV - <u>Tectonique</u>	21
Hypothèse sur la formation de la dépres- sion de Traslepuys.	
V - <u>Importance de la tectonique pour l'hydrogéologie de cette région</u>	24
VI - <u>Conclusion</u>	24
<u>CHAPITRE II - SONDAGES</u>	26
1) Sondages de la C.N.R. et de la S.N.P.A.	
2) Sondages des P.C. de Nîmes	
3) Détermination du coefficient de perméa- bilité par la granulométrie.	
4) Conclusion.	
<u>CHAPITRE III - HYDROGEOLOGIE</u>	35
I - <u>Anciens travaux de captage et d'assèchement</u>	36
II - <u>Hydrologie de surface</u>	38
A - Cours d'eau	38
B - Système des sources	39
C - Pluviométrie (étude statistique).	39
D - Influence du vent	52
III - <u>Hydraulique souterraine</u>	52 bis
1) Piézométrie	52 "
<u>Etat piézométrique des unités II et III ainsi que la partie de la plaine située au Nord de Roquemaure</u>	
	54

<u>Etude de la partie de la nappe al-</u> <u>luviale du Rhône comprise entre Ro-</u> <u>quemaure et Villeneuve-les-Avignon</u>	55
A - Carte piézométrique des basses eaux fin septembre 1964	56
B - Carte piézométrique des hautes eaux fin mars 1965	61
C - Comparaison des deux états ex- trêmes de la nappe	64
D - Conclusion pratique	67
E - Courbes de tarissement du Rhône et vidange de sa nappe alluviale dans la zone étudiée	68
2) Essais de débits	76
I - Essais de Villeneuve-les-Avignon	76
II - Essai de Roquefort	84
III - Essai de Pujaut	90
IV - <u>Hydrochimie</u>	94
1) Classement des eaux	94
2) Relation entre les différents sels trouvés dans les eaux et le terrain de leur gisement	106
3) Comparaison des eaux issues des différentes unités hydrologique ..	107
4) Variations quantitatives des éléments de la nappe captive de Pujaut - comparaison des eaux des nappes captives de Pujaut et de Trasleigne	108

5) Etude des cartes hydrochimiques	110
a) Résistivité	110
b) concentration totale	111
c) Chlorures	112
d) rSO_4/rCl	113
e) i.d	116
6) Intérêt pratique de l'hydrochimie ..	118
7) Conclusion sur l'étude chimique	122
V - <u>Conclusion</u> (conséquences pratiques de l'étude chimique)	123

<u>CHAPITRE IV</u> - CONSIDERATIONS SUR LE PROBLEME KARSTIQUE DE LA REGION ETUDIEE	125
1) Morphologie des massifs calcaires	125
2) Sources en bordure des massifs.....	126
3) Chimisme des eaux en bordure des massifs	127
4) Calcul des apports pluviométriques dans le karst	128
5) Alimentation des nappes de Pujaut, Traslepu et la nappe alluviale du Rhône par le karst présumé	129
6) Conclusion	133

<u>CONCLUSIONS GENERALES</u> -	134
--------------------------------------	-----

<u>BIBLIOGRAPHIE</u> -	
------------------------	--

<u>APPENDICE</u> -	
--------------------	--

- Fig. (1) - Polygone de fréquence
 - Fig. (2) - Droite de Henry
 - Fig. (3) - Graphique chronologique sur 77 années
 - Fig. (4) - Graphique des variations des modules pluviométriques mensuels. Poste de Roquemaure (1887-1963).
 - Fig. (5) - Courbes de tarissement du Rhône à Roquemaure et en Avignon.
 - Fig. (5 bis) - Graphique des variations du débit journalier entre Avignon et Roquemaure (période de tarissement).
 - Fig. (6) - Graphique pour le calcul du rayon efficace d'un puits.
 - Fig. (7) - Droite de descente dans le puits de Villeneuve-les-Avignon.
 - Fig. (7 bis) - Droite de remontée dans le puits de Villeneuve-les-Avignons.
 - Fig. (8) - Droite de descente dans le forage de Roquemaure.
 - Fig. (9) - Droite de descente du puits 30 de Pujaut.
 - Fig. (9 bis) - Droite de remontée du puits 30 de Pujaut.
 - Fig. (10) - Allure des eaux du Rhône (pont d'Avignon).
 - Fig. (12) - Eaux de surface du secteur de Pujaut.
 - Fig. (13) - Allure générale des eaux du secteur de Pujaut.
 - Fig. (15) - Diagramme de comparaison des eaux types issues des différentes unités hydrogéologique.
 - Fig. (16) - Allure des eaux des nappes captives de Pujaut et Traslepuu.
 - Fig. (17) - Diagramme de potabilité des eaux (nappes captives de Pujaut et de Traslepuu).
-
- Plan de situation géographique du secteur étudié.
 - Plan de situation des sondages et forages de la S.N.P.A et de la C.N.R.
 - Plan de situation des sondages des Ponts et Chaussées (P.C) de Nîmes.

- PL. I - log. stratigraphique : N-S Carrière de S -Géniès-de-Comolas
- PL. II - Joleaud - coupe du Miocène de Sauveterre parallèle à la R.N. 580
- PL. III - log. stratigraphique du point "c" Ancienne carrière helvétique
St Veredeine - Pujaut
- PL. IV - log. stratigraphique de l'Helvétien point "E" R.N. 580 (Nord de Sauveterre)
- PL. V -Joleaud - coupe du Néogène de Thézières à Sauveterre par Saze et Pujaut
- PL. VI - log. stratigraphique = Astien point "K₃" NNE de la Forêt-de-Clary
- PL. VII -Coupe AB
- PL. VIII - log. stratigraphique au point "J₃" R.N. 576
- PL. IX - Coupe semi-interprétative CD
- PL. X - Coupes des sondages CNR (R_A 66, A47, A49, A₄)
- PL. XI - (R₁P₄) coupe approchée des terrains établie à l'aide des forages (SNPA)
et des sondages (CNR)
- coupe approchée des terrains de la Barthélasse (sondages CNR)
- PL. XII - Coupes des sondages CNR (A₁₃, A35, A43, A42,)
- PL. XIII - Coupe approchée des terrains dans la plaine alluviale du Rhône
(Nord de Villeneuve)
- (R₁P₂) coupe approchée des terrains établie à l'aide des forages
(SNPA) et des sondages (CNR)
- PL. XIV - (M₂P₈) Coupe approchée des terrains établie à l'aide des forages
(SNPA)
- PL. XVI - Coupe approchée des terrains à l'aide des sondages des P.C de Nîmes
- PL. XVII - Sondage (SNPA) Pujaut
- PL. XVIII - Coupe du puits d'essai de pompage de Villeneuve-les-Avignon
- PL. XIX - Coupe du forage pour l'alimentation en eau de Roquemaure
- Schéma (1) - coupes montrant le niveau piézométrique pendant les basses
eaux dans la plaine alluviale du Rhône.
- Schéma (2) - coupes montrant le niveau piézométrique pendant les hautes
eaux dans la plaine alluviale du Rhône.

- A - Carte d'Inventaire
- B - Carte des faciès géologiques
- C - Carte piézométrique des basses eaux
- D - Carte piézométrique des hautes eaux
- E - Carte piézométrique du mois d'Août
- F - Carte de Résistivité
- G - Carte de concentration totale
- H - Carte d'isochlorures
- I - Carte du rapport rSO_4/rCl
- J - Carte de l'indice de déséquilibre chlore-alcalin.

AVANT-PROPOS

Avant d'exposer les résultats de mon travail, je me dois d'exprimer ma gratitude la plus profonde à tous ceux qui m'ont aidé à mener à bien ce travail.

Tout d'abord, je dois remercier M. Le professeur J. AVIAS Directeur de l'Institut de Géologie de m'avoir permis de suivre son enseignement de 3^e cycle et de m'avoir accepté comme étudiant de thèse.

Je ne pourrais pas oublier tout ce qu'il a fait pour me permettre d'achever ce travail dans les meilleures conditions, en particulier, ses nombreuses interventions auprès des autorités de l'Assistance Technique des Nations-Unies pour me permettre de bénéficier de plus d'avantages possibles.

Je témoigne ici ma vive reconnaissance à M. C. CHATUL-KANGA, Directeur du Service des Mines et de la Géologie du Cameroun grâce à qui une bourse des Nations-Unies m'avait été attribuée pour entreprendre ce travail.

Je dois ma vive gratitude à M. le Professeur P. DEMANGEON et M. A. LEFEBRE, Directeur des Etudes à l'Ecole Nationale Technique des Mines d'ALS d'avoir accepté, malgré le programme chargé de leur emploi de temps quotidien, de faire parti du jury qui doit sanctionner ce travail.

Que M. R. PLEGAT, Maître-Assistant d'Hydrogéologie trouve ici ma vive reconnaissance pour les conseils qu'il a bien voulu me donner, en me faisant ainsi bénéficier de sa grande expérience.

Je remercie également M. MATHIAN, Directeur de la Z.N.R, et M. le Directeur de la S.N.P.A de m'avoir permis d'utiliser leur nombreuse documentation sur la région intéressée par ce travail.

Il en est de même des Organismes et Services Administratifs : Le Génie Rural de Nîmes, les Ponts et Chaussées du Gard, le Service Météorologique du Gard. Que les responsables de ces services trouvent ici ma vive reconnaissance.

Je fais une place à part à M. GERMAND, conservateur au Museum d'Histoire Naturelle, 67, rue Joseph Vernet en Avignon dont les conseils et la générosité m'ont encouragé pendant les moments les plus difficiles de mon travail sur le terrain. Qu'il accepte mes remerciements les plus sincères.

Je n'oublie pas non plus l'accueil que m'a réservé le Laboratoire de Géologie pour la réalisation de ce travail. Je pense en particulier à mon camarade C. JOSEPH, pour ses conseils, à M. MAURIN pour les analyses chimiques, à M. VILANOVA pour l'exécution des dessins. Je fais une place à part à Mme et Mlle FARENC, dont le dévouement est au-dessus de toute élogé, pour les travaux de frappe, d'assemblage et de présentation.

Et pour terminer, je remercie les propriétaires et régisseurs de la région, je pense en particulier à M. DURAND de Pujaut et aux propriétaires de la ferme la "POISSONNIERE" de Roquemaure de m'avoir facilité le travail et accueilli sans aucune réserve.

SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SECTEUR ETUDIE



INTRODUCTION

SITUATION : GEOGRAPHIQUE

La région qui intéresse cette étude se trouve à l'extrémité Est du département du Gard, à la limite de ce département avec celui du Vaucluse dont il est séparé par le Rhône. Cette région est limitée au Nord par le hameau de St-Géniès-de-Colomas.NNE, par le hameau de Montfaucon, à l'Est par le Rhône, au Sud par Villeneuve-les-Avignon, à l'Ouest et au Nord-Ouest par Tavel et St-Laurent-Lirac.

Elle s'étend du Nord au Sud sur les communes de St-Géniès-de-Comolas, de Montfaucon, de Roquemaure, une partie de la commune de Tavel, sur la commune de Sauveterre, de Pujaut et de Villeneuve-les-Avignon. Cette étendue est augmentée par les deux îles, de Barthélasse, commune d'Avignon, et d'Oiselet, commune de Sorgues. La superficie intéressée s'étend à peu près sur 125km².

Le relief est varié sur toute l'étendue. Il y a trois massifs calcaires séparés les uns des autres par deux dépressions ou anciens étangs. On a donc au Sud le massif de Villeneuve, au centre de la région, le Massif de l'Aspre séparé du précédent par l'ancien étang de Pujaut dont le point le plus bas a une altitude de 40 m. Au Nord de la région, c'est la Montagne-de-Saint-Géniès, le massif le plus élevé des trois, car il atteint à son centre l'altitude de 180 m. Ce massif est séparé de celui de l'Aspre par l'ancien étang de Traslepuy.

Au voisinage immédiat de ces trois massifs, on remarque la présence des plateaux de cailloutis qui leur sont presque adossés, c'est le cas du plateau de Villeneuve, de celui d'Aguillon qui s'adosse au Massif de l'Aspre; la Fôret-de-Clary et le plateau de Maillac.

Une plaine alluviale borde le Rhône, du Nord au Sud, atteignant une largeur moyenne de 1600m. Les massifs calcaires isolent en général cette plaine de l'intérieur de la région.

Le réseau hydrographique est constitué par le Rhône à l'Est le Nison au Nord et les "Roubines" (1) de Traslepuÿ et de Pujaut se jetant dans le Rhône.

Le climat est du type méditerranéen. Le Mistral, vent du NNO, y souffle toute l'année. Pendant ses accalmies, le vent du Sud prend la relève, ce dernier est annonciateur de la pluie. La température moyenne annuelle est évaluée à 14°C.

(1) "Roubines" nom donné dans la région aux nombreux canaux de drainage des anciens étangs.

GEOLOGIE

Cette étude est orientée surtout vers la description des faciès de la région intéressée par ce travail. Nous nous aiderons en partie de l'étude des différents faciès du Crétacé de Y. Conquy (1962). Géologue de la S.N.P.A.

Nous divisons ce chapitre d'après le schéma suivant :

- I - Etude du Crétacé.
 - II - Etude du tertiaire comprenant notamment :
 - a) - Le Miocène
 - b) - Le Pliocène
 - III - Etude du Quaternaire.
 - IV - Tectonique.
 - V - Importance de la tectonique dans le drainage des eaux.
 - VI - Conclusion.
-

REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES DIFFERENTS TERRAINS.

LE CRETACE.

Il forme trois ensembles, séparés par deux dépressions.

a) Le Massif de Villeneuve-les-Avignon.

Celui-ci est limité à l'Est par la plaine alluviale du Rhône, au NO par la dépression de Pujaut, au Nord par la "roubine" qui draine l'ancien étang de Pujaut passant par FOUR. Au Sud, ce massif continue au delà de notre zone de travail.

b) Le Massif de l'Aspre.

Il est orienté SO-NE presque parallèle au précédent. C'est une sorte d'ilôt entre deux anciens étangs car au SSE, la dépression de Pujaut le sépare du Massif de Villeneuve et au NNO, il est limité par une autre dépression, l'ancien étang de Traslepuys dans la commune de Roquemaure. A l'Est, il débouche dans la plaine alluviale du Rhône où sa pointe en falaise surplombe la R.N. 580. A l'Ouest, il se perd dans le Pliocène (Astien) où le sable descendant des pentes de la Forêt-de-Clary l'enterre peu à peu dans le domaine du Château d'Aquéria.

c) La Barre de Roquemaure.

Ce massif est orienté W - E. Sa pente sud est douce, alors que le côté nord forme une falaise abrupte de 100 m et plus, qui domine la plaine alluviale du Rhône. Sa limite sud est donc l'étang de Traslepuys, limite Nord, la plaine alluviale du Rhône, à l'Est, le Rhône et à l'Ouest, le sable de St-Laurent, autre appellation de l'Astien de la région.

LE MIOCENE.

Il forme deux grands ensembles et quelques petits îlots signalés sur la carte géologique.

a) - Ensemble de Villeneuve-les-Avignon.

Il s'étend du NE - SO dans la bordure est du Massif de Villeneuve dont il sépare de la vallée alluviale du Rhône. Sa limite avec la vallée alluviale suit presque la voie ferrée Avignon - Roquemaure. Le Miocène continue au Sud de Ville-

neuve et s'étend au delà de nos limites.

b) - Ensemble de Sauveterre.

Celui-ci couvre la région comprise entre Pujaut à l'Ouest et Sauveterre à l'Est, le Massif de Villeneuve au Sud et le Massif de l'Aspre au Nord. Il est séparé de la plaine alluviale par la R.N. 580.

LE PLIOCENE.

On le rencontre un peu partout au Nord du Massif de Villeneuve. Ce massif forme la limite sud de la région qui nous intéresse. Le pliocène affleure spécialement dans les environs de Pujaut, de la dépression de Traslepuys et continue jusqu'au Nord de la Barre (St-Génies-de-Comolas) en contournant ce massif à l'Ouest.

LE QUATERNAIRE.

Il couvre une grande surface dans la plaine alluviale du Rhône, dans les dépressions de Pujaut et de Traslepuys sous forme d'alluvions modernes. On le trouve aussi en discordance, ou plus correctement, reposant sur la plupart des séries citées plus haut sous forme de terrasses formant le quaternaire ancien et moyen.

DESCRIPTION DES FACIES

I - ETUDE DU CALCAIRE DU CRETACE.

1) - Le Massif de Villeneuve-les-Avignon.

Il a été très difficile de parcourir la totalité de la partie du massif incluse dans notre secteur d'étude, car il y a une couverture végétale dense qui masque les affleurements, des zones interdites appartenant à l'autorité militaire du fait des exercices de tir au fusil et des tirs de mines (Génie), enfin une partie de ce plateau constitue une réserve de chasse et de nombreuses petites zones de propriété privée.

Dans la partie dégagée et non interdite, on remarque de petites dépressions qui rappellent la structure karstique. Le remplissage de ces dépressions est constitué en grande partie par du sable et de la terre argileuse jaunâtre. Au contact du Crétacé et du Miocène on rencontre parfois des traces de rivages marins sur le calcaire, matérialisés par des perforations des lithophages, imprégnées d'oxyde de fer. (Voir carte des faciès)

a) - Calcaire marneux.

Il est représenté sur la carte par le symbole n.3, il couvre la majeure partie du massif. Ce calcaire est bien visible en bordure de l'étang de Pujaut.

C'est un calcaire plus ou moins beige clair, en petits bancs avec interlits de marnes durcies de quelques centimètres. Conquy classe ce niveau dans le Barremien inférieur.

M.Conquy donne la microfaune suivante : Marginulopsis Sigali, Tritania pyramidata etc... Comme macrofaune, il cite les criocéras, ainsi que les Nautilus néocomiensis.

b)- Calcaire massif à silex.

Cette variété est notée sur la carte n. 4 b c'est un calcaire blanc présentant de gros bancs. Il est dur et renferme de gros rognons de silex à cassure grise. D'après M.Conquy, c'est le Barrémien supérieur. Cependant, ce terme est signalé par la carte au 80.000^e comme étant du Barrémien inférieur (CIII)

2) - Le Massif de l'Aspre.

Lorsqu'on aperçoit ce massif pour la première fois, on est frappé par la couleur grise extérieure du calcaire, couleur qui reste uniforme sur toute l'étendue du massif. Cet aspect est dû aux lichens. Ce massif a d'autre part, l'aspect rocheux ; il est très fissuré.

a) - Calcaire massif cristallin.

Ce calcaire très dur présente une cassure d'aspect caractéristique, de teinte jaune miel avec passées rose-lie-de vin, miroitante du fait de la présence de veinules de calcite. A certains endroits de ce massif, nous avons rencontré du calcaire présentant de nombreuses oolithes de la grosseur d'une tête

d'épingle, tout de même discernables à l'oeil nu. Cette variété à la particularité d'être tendre sous le choc du marteau.

Enfin, à d'autres endroits de ce massif, on note la présence d'un calcaire à cassure poudreuse, rugueuse au toucher, de couleur blanc-mât à grisâtre, laissant une poudre blanchâtre au marteau, cependant, restant dur, cristallin et massif. Ce sont les calcaires graveleux supérieurs de Conquy qui les classe dans le Barrémien supérieur à faciès urgonien (n4 ua).

b) - Marno-calcaires.

Vers la pointe est de ce massif on rencontre les marno-calcaires (n3a), calcaire argileux gris beige dur, mais non cristallin. Ici, on note la présence de petits rognons de silex, blanchâtres à la cassure, de la taille d'un oeuf de canne (Barremien inférieur). La limite crétacé-miocène de Sauveterre est matérialisée à cette pointe est par un rivage marin à perforations de lithophages.

3 - La Barre de Roquemaure.

On peut y distinguer deux grande variétés de calcaire d'après leur faciès.

a) - Marno-calcaires et calcaires grossièrement graveleux.

Cette zone se situe dans la face sud de la Barre, vers la limite ouest. Les marno-calcaires présentent presque les mêmes caractères que ceux de l'Aspre mais ici les petits rognons de silex avoisinent les petits lits de silex blancs entre les joints de stratification. La cassure est conchoïdale, gris-clair au toucher doux. Ils forment des bancs de 0,25 m de direction W-E, avec un pendage moyen de 65°N. Les joints de 0,05 m sont de marnes durcies, laissant une poudre blanche au toucher.

Plus on s'enfonce dans le massif en direction du Nord, plus ces marno-calcaires deviennent durs passant progressivement aux calcaires graveleux intermédiaires de Conquy : ce sont les calcaires grossièrement graveleux à cassure spathique. On y rencontre les mêmes interlits de marne, mais l'épaisseur des couches augmente. Les rognons de silex à la cassures gris-clair deviennent de petits blocs de 0,2 à 0,25 m de diamètre. La direction des couches semble se modifier légèrement

devenant NW - SE. Cette dernière variété de marno-calcaires représente les premières manifestations du faciès urgonien. Ils appartiennent au Barremien inférieur comme ceux de l'Aspre. (Conquy)

b) - Calcaires graveleux supérieurs.

Cet ensemble se détache des marno-calcaires au fur et à mesure qu'on progresse en direction du Nord dans la Barre. Ce sont des calcaires argileux massifs, et cristallins. La cassure est rose avec nombreux points de calcite d'où son scintillement au soleil. Les couches sont orientées WE avec pendage subvertical oscillant aux alentours de 75°N. L'aspect extérieur reste gris. Du côté nord de la Barre, à la carrière de St-Génies-de-Comolas appartenant à la Société Ferro-Alliage d'Ardoise, nous avons noté la présence dans ce calcaire d'énormes rognons de silex, (diamètre jusqu'à 40 cm), ainsi que des bancs de silex de même pendage que les couches des calcaires graveleux, c'est un silex gris dont nous avons relevé la puissance des bancs à la carrière. L'un des bancs avait une puissance de 6 m, l'autre de 1,50 m. On constate que l'importance des bancs de silex diminue dans le sens NS (Pl. I - log stratigraphique dans la carrière). On remarque dans l'ensemble de cette exploitation des nombreuses passées d'argile entre les bancs, parfois, ces passées constituent de véritables poches d'argile jaunâtre.

La Barre recèle de nombreuses excavations du côté nord, paraissant à de véritables grottes remplies de sédiments du Pliocène.

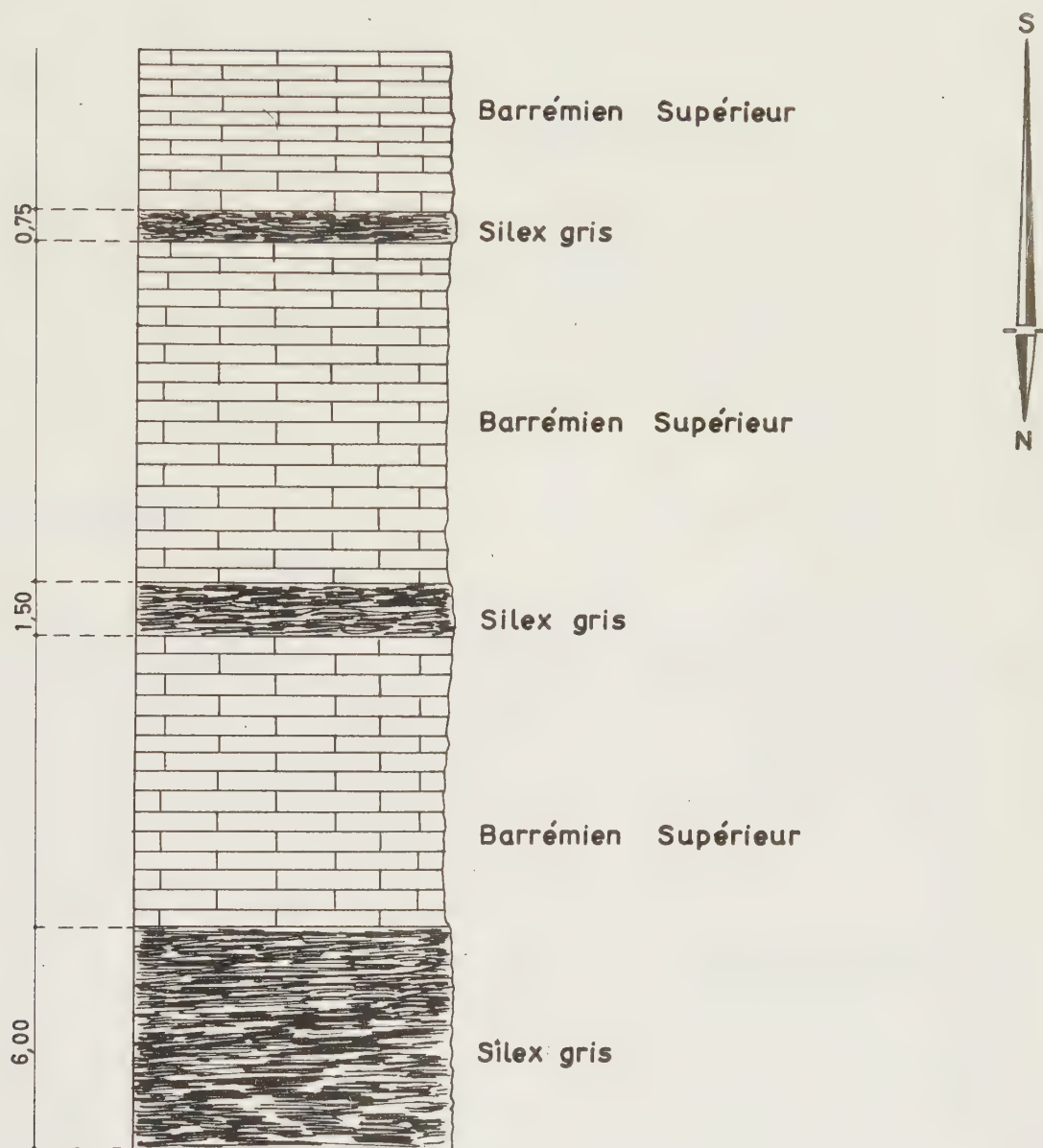
Ces calcaires graveleux supérieurs sont du Barremien supérieur à faciès urgonien (n4ua) comme ceux de l'Aspre.

Nous concluons l'étude de la Barre de Roquemaure en donnant certains résultats des sondages tirés du rapport qui nous a été communiqué par l'Ingénieur de la Société Ferro-Alliage responsable de la carrière de St-Génies à qui nous adressons nos remerciements.

Il a été fait entre Décembre 1961 et Mars 1962, une série de huit sondages de 30 m suivis d'une série de cinq sondages de contrôle de 50 m. Ces sondages révèlent un calcaire très disloqué ; rencontre de quelques petits bancs et rognons de silex ainsi que des remplissages d'argile de moindre importance.

LOG STRATIGRAPHIQUE N-S CARRIERE DE S^t GENIES DE COMOLAS

5-11-1964



Direction des couches: E-W — Pendage moyen: 75°N

Echelle: 1/200

Les résultats du laboratoire de l'usine sont les suivants :
éléments à l'état de trace ne variant pas le long du sondage :

MgO	0,2 % partout
FeO	0,25 % "
S	0,006 % "

Le phosphore varie; sa valeur moyenne dans toute la zone explorée est de l'ordre de 0,008 %.

La silice varie selon nos observations de la carrière (N-S). Les résultats de la partie nord de la Barre indiquent une teneur en silice moyenne de 2,80 % avec des "pointes" allant jusqu'à 80 % pour tomber dans la partie sud de la zone explorée à 1 %. Il faut noter aussi la variation dans le sens de la profondeur de la teneur en silice : augmentation en profondeur dans les sondages.

II - ETUDE DU TERTIAIRE.

1) Le Miocène.

Il existe de nombreuses publications, en particulier, celle de L. Joleaud (Académie de Vaucluse 1905 - 1906), sur le Néogène du Comtat. Le Miocène attire beaucoup plus l'attention que le reste à cause de son faciès "grès" qui a servi de pierre à bâtir. Le Miocène de la région qui nous intéresse se divise en Burdigalien et en Helvétien.

a) - Burdigalien.

On le rencontre sous le faciès molassique des Carriers ; c'est un calcaire, constitué de débris organiques et rares grains de quartz, qui, lors de son exploitation se taille facilement, mais devenant très dur une fois exposé à l'air. Sur notre carte de faciès géologiques, il est représenté par le symbole m₁. On le rencontre dans deux petites dépressions situées au coeur du Massif de Villeneuve. Il a fait l'objet d'une intense exploitation à cause de son faciès.

b) - Helvétien.

On le trouve en bordure de la R.N. 580 immédiatement au N de Villeneuve.

neuve, ainsi que dans la région de Sauveterre (planche II).

De bas en haut, on le trouve 1°) sous le faciès marnes gris-pâle, sableuses, avec quelques paillettes de mica visibles à l'oeil nu.

2°) Faciès sableux, ce sont des sables micacés gris, légèrement argileux plus ou moins agglomérés sous forme de grès, mais s'effritant au toucher. On peut voir ce faciès de l'Helvétien aux abords du Camp Militaire de Villeneuve-les-Avignon.

Souvent dans la masse du premier terme de cette série, on rencontre des petites couches de sable qui se terminent en biseau dans la masse marneuse.

3°) Faciès gréseux. Il a été exploité comme pierre à bâtir ; c'est ce qu'en témoignent les nombreuses carrières anciennes, surtout dans la région de Sauveterre.

Il commence à la base, c'est-à-dire au contact des sables agglomérés décrits précédemment, par un grès "psammitique" car il y a un apport important de paillettes de mica dans la masse de la formation, le quartz y est cependant abondant. Il y a une abondance de points, à couleur de rouille, dans la masse, témoignant ainsi de la présence de l'oxyde de fer.

Vient ensuite du grès marneux, grès grossier avec incorporation dans sa masse de nombreux petits cailloux quartzeux roulés et polis, ainsi que des débris de coquillages. On y rencontre encore quelques paillettes de mica isolées. L'aspect de ce grès est jaune-sale. Les bancs de grès sont séparés par des interlits marneux durcis (Voir log du point C. Planche III).

Enfin, au sommet de la formation on trouve un grès très dur, renfermant aussi de très nombreux cailloux roulés, les coquilles y sont très brisées et souvent, ont complètement disparu en laissant un vide. C'est l'assise appelée (grès à cardite) par Joleaud. (1)

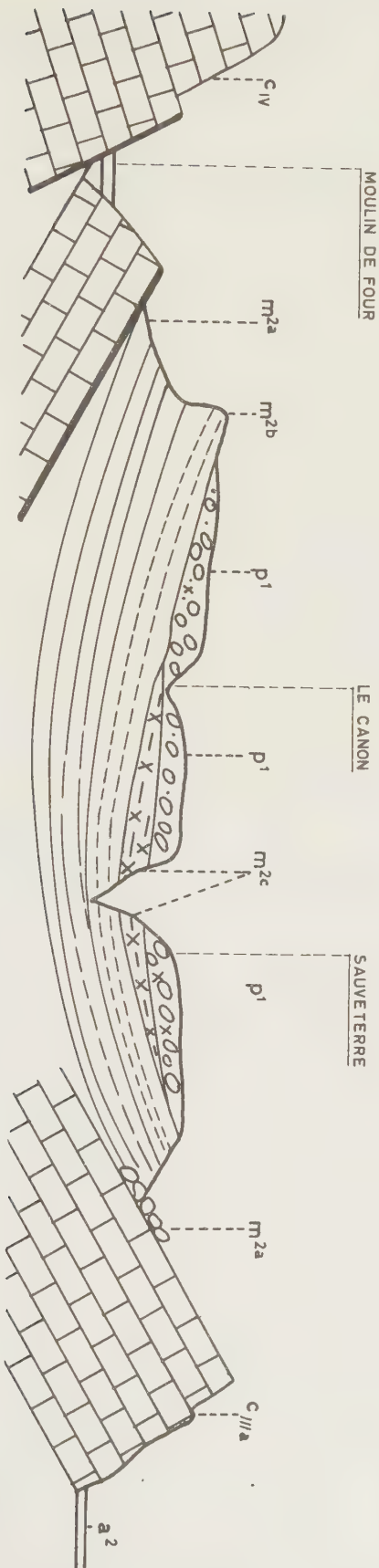
(1) La planche IV montre l'allure de l'Helvétien au Nord de Sauveterre au point "E" sur la R.N. 580 (Voir la situation de ce point sur la carte des faciès).

JOLEAUD - COUPE DU MIOCENE DE SAUVETERRE PARALLELE A LA R.N.580

Fascicule II - Page 260

SSE

NNO



- m^{2a} = Helvétien (conglomérat)
- m^{2a} = Helvétien (schlier)
- m^{2b} = Helvétien (grès à Bryozoaire)
- m^{2c} = Helvétien (grès à Cardites)
- p¹ = Sicilien
- a² = Néopliocène
- C^{IIIa} = Barrémien Supérieur
- C^{IV} = Barrémien Inférieur

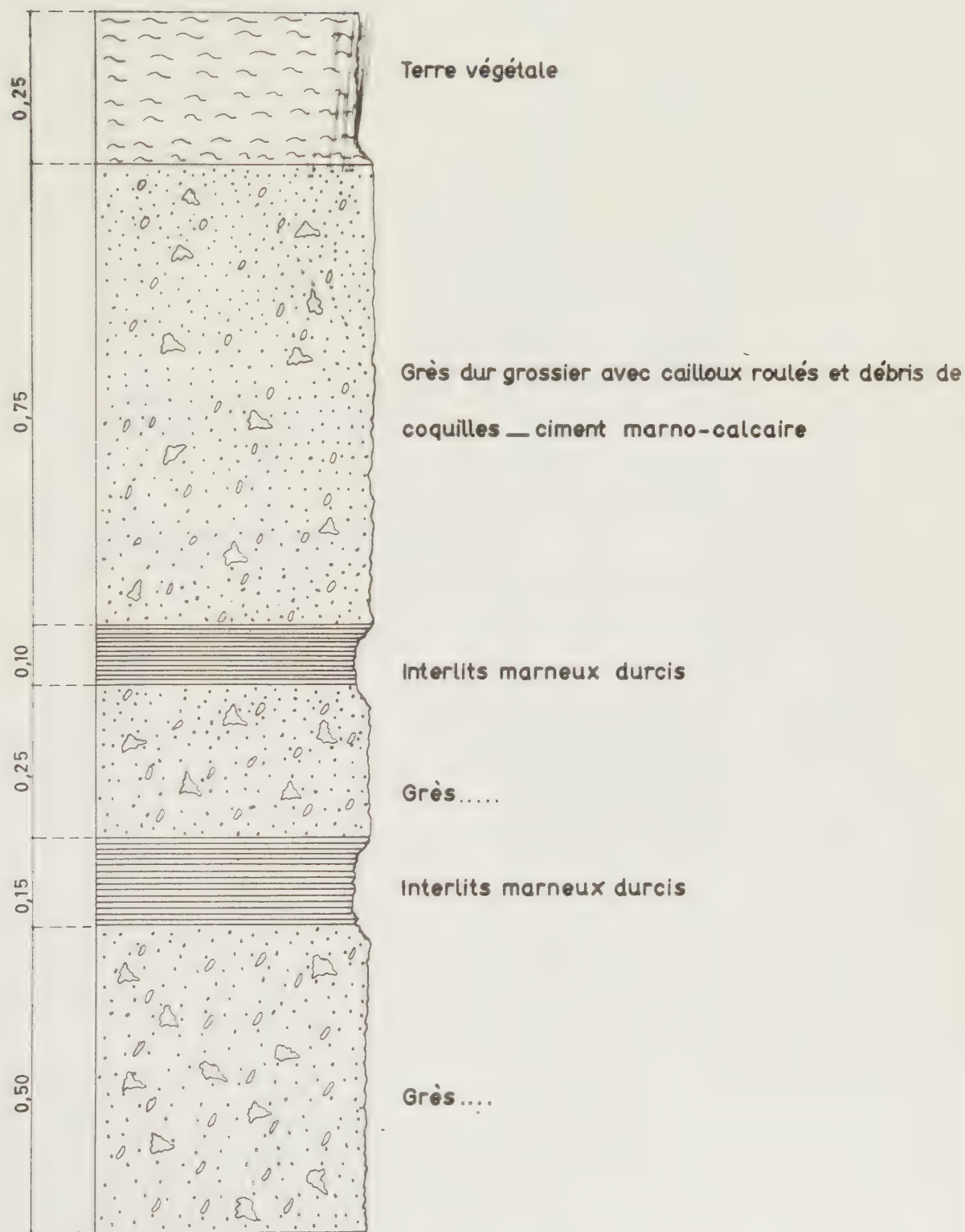
Echelles

hauteurs : 1/6400

longueurs : 1/16 000

LOG STRATIGRAPHIQUE POINT 'C' ANCIENNE CARRIERE HELVETIENNE

St VEREDEINE — PUJAUT

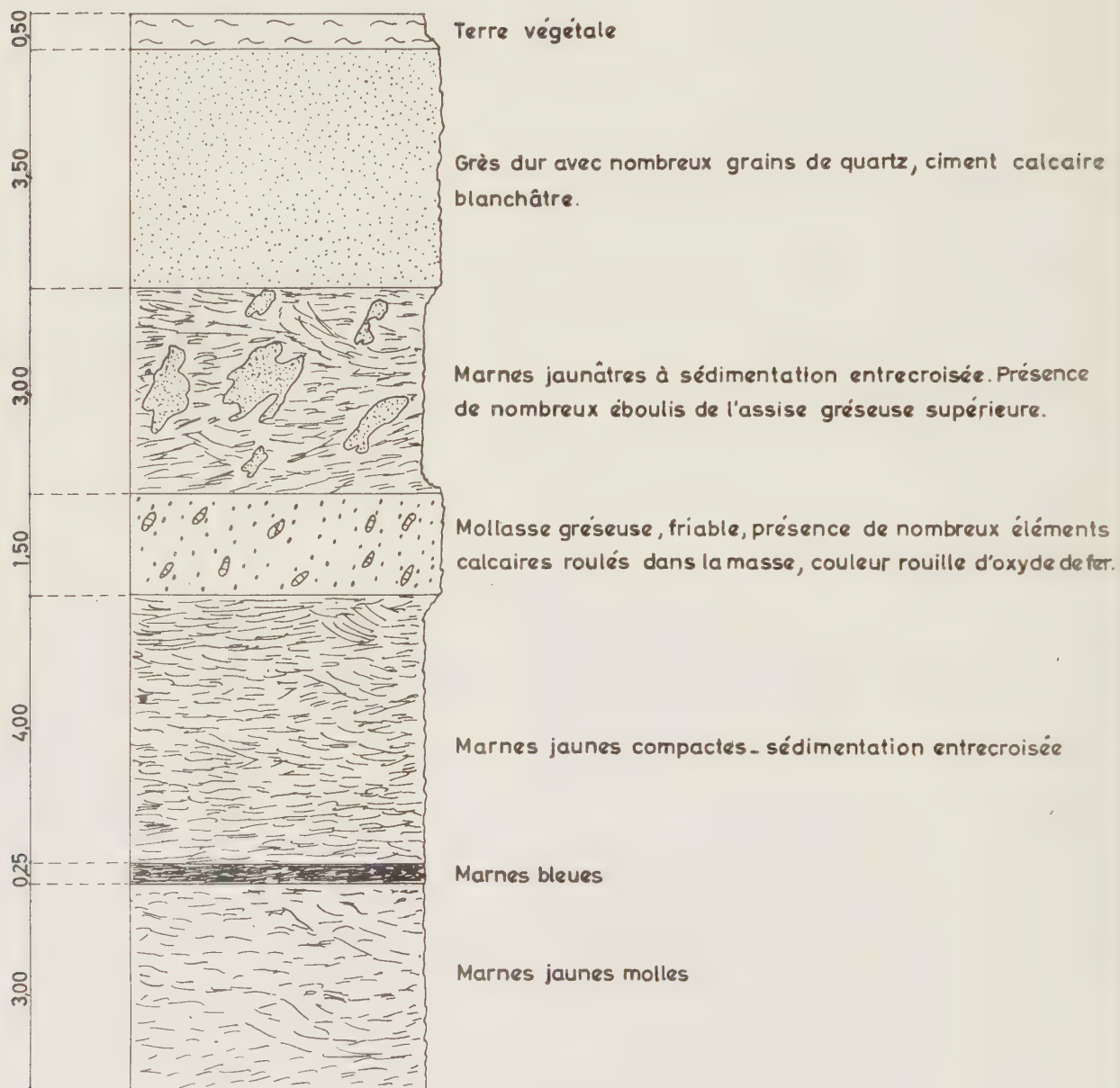


○ Cailloux quartzeux roulés et polis — ◊ Débris de coquille

Echelle : 1/10

LOG STRATIGRAPHIQUE HELVETIEN POINT 'E' R.N. 580

NORD DE SAUVETERRE



Pendage général : 20° SSE

θ Caillou calcaire roulé —  éboulis gréseux

Echelle: 1/100

Le pendage moyen de l'Helvétien de Sauveterre est pour les assises inférieures, en particulier marnes et sables, de l'ordre de 20° N NO. Ce pendage diminue au fur et à mesure que l'on monte dans la série jusqu'à ne plus être que de quelques degrés dans les formations de gros bancs de grés.

2) - Le Pliocène.

Le Pliocène, dans la région, est représenté par les marnes du Plaisancien à la base, et le sable de l'Astien ou sable de St - Laurent au sommet. En ce qui concerne l'Astien, son faciès ne se limite pas au sable pur, car on le trouve aussi sous forme de sable argileux, ainsi que sous forme de grosses dalles de grés siliceux.

a) - Plaisancien.

Il affleure surtout dans les environs de Pujaut et de St-Géniès-de-Comolas. Il est très difficile de la caractériser à la surface du sol car les travaux des vignobles et autres l'ont beaucoup remanié. Nous avons pu le voir frais lors d'un sondage de la S.N.P.A. aux abords de Pujaut. C'est une argile bleue grisâtre, collante au toucher quand elle est fraîche, laissant une poudre grisâtre aux doigts lorsqu'elle est sèche. En ce qui concerne la région de Pujaut il semble que ce Plaisancien argileux formerait le fond de l'étang desséché de Pujaut (coupe de Joleaud - Pl. V). Cette hypothèse semble se vérifier car les sondages des Ponts et Chaussées de Nîmes, pour une bretelle de la R.N. 580, malheureusement peu profonds, ont montré l'existence de ces argiles au fond de l'emplacement de l'ancien étang.

Ce faciès argileux se retrouve à St-Géniès-de-Comolas. Au bas de la colline de Comolas, on rencontre les argiles bleues, leur présence se manifeste autour du village par de nombreuses sources ; l'eau tombée sur les hauteurs du Villafranchien et du Quarternaire moyen, vient buter contre ces argiles et jaillit à la surface du sol.

Toujours à St-Géniès, on est en présence au bas de Comolas, côté est, d'un faciès ligniteux. Ces lignites avaient été exploitées pendant la dernière Guerre Mondiale.

b) - Astien. Il affleure principalement à Pujaut, à St-Géniès-de-Comolas, ainsi

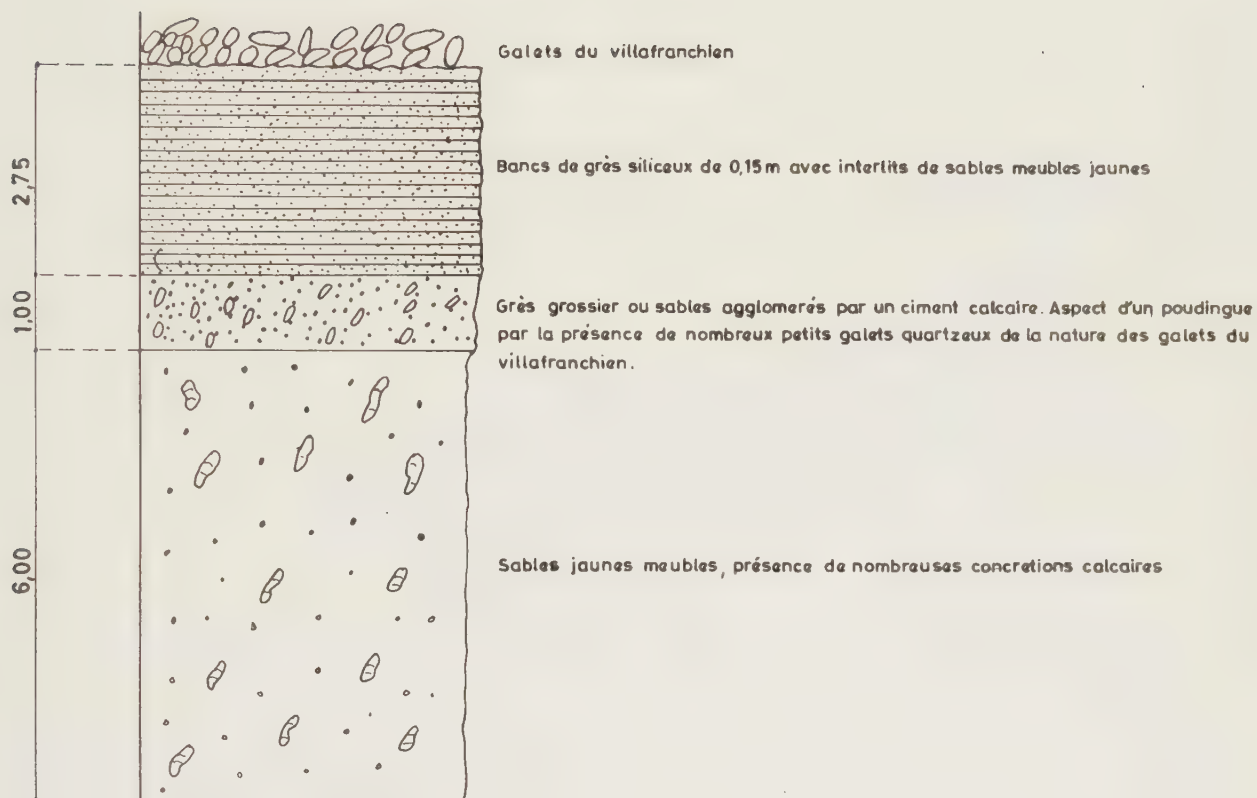
que dans la région située à l'Ouest de Roquemaure touchant à la Forêt-de-Clary. En dehors de St-Géniès où l'on trouve le faciès sablo-argileux, l'Astien se trouve sous forme de sable jaune-rougeâtre.

Ces sables sont généralement disposés en stratigraphie horizontale ou légèrement oblique dont les couches sont parfois coupées par des lignes de nodules calcaires blanchâtres, friables au toucher. Lorsque ces sables sont meubles, ils ont la nature siliceuse, par conséquent de composition exclusive de grains de quartz ; des paillettes de mica y sont abondamment répandues. On rencontre aussi dans leur masse des traces ferrugineuses.

Parfois, un ciment argilo-calcaire leur permet de s'agglomérer en nodules isolés ou d'être disposés en assises régulièrement stratifiées. Dans certains endroits ces sables sont agglutinés d'une manière assez compacte, formant de véritables dalles de grés très siliceux d'épaisseur variable et quasi imperméable. Cette variété de l'Astien a une couleur gris-blanchâtre ; nous pensons que celle-ci est inhérente à la formation de ces dalles de grés, car nous supposons qu'elles se forment grâce au lessivage des sables de la surface par les pluies entraînant le calcaire dans la profondeur de la masse des sables meubles. Ce calcaire servirait donc de liant, mais il doit y avoir cependant l'intervention des facteurs pression et temps. Le ciment est plus abondant dans les dalles de grés moins profondes, par conséquent, moins dures, alors que les dalles se trouvant à des régions plus profondes de la masse des sables, sont plus compactes, à grains de quartz plus abondants, serrés, presque soudés les uns aux autres. Nous notons une décroissance des traces ferrugineuses dans les bancs de grés avec la profondeur. Au point K₃, nous donnons un log stratigraphique (Pl.VI) de l'Astien des abords de la Forêt - de - Clary et de la Barre de Roquemaure.

Une coupe AB (Pl. VII) partant de la colline de Comolas (St-Géniès) à la Barre de Roquemaure présente au sommet de la colline de Comolas un lambeau de terrasse classée au Villafranchien à cause de l'abondance de galets de nature quartzreuse qui dépassent 80 % de l'ensemble, à la base de ces galets, nous rencontrons une zone d'une épaisseur d'environ 0,25 m de poulingues à ciment calcaire et à éléments de petits galets quartzeux. Au dessous,

LOG STRATIGRAPHIQUE ASTIEN POINT 'K3' N-NE DE LA FORET DE CLARY

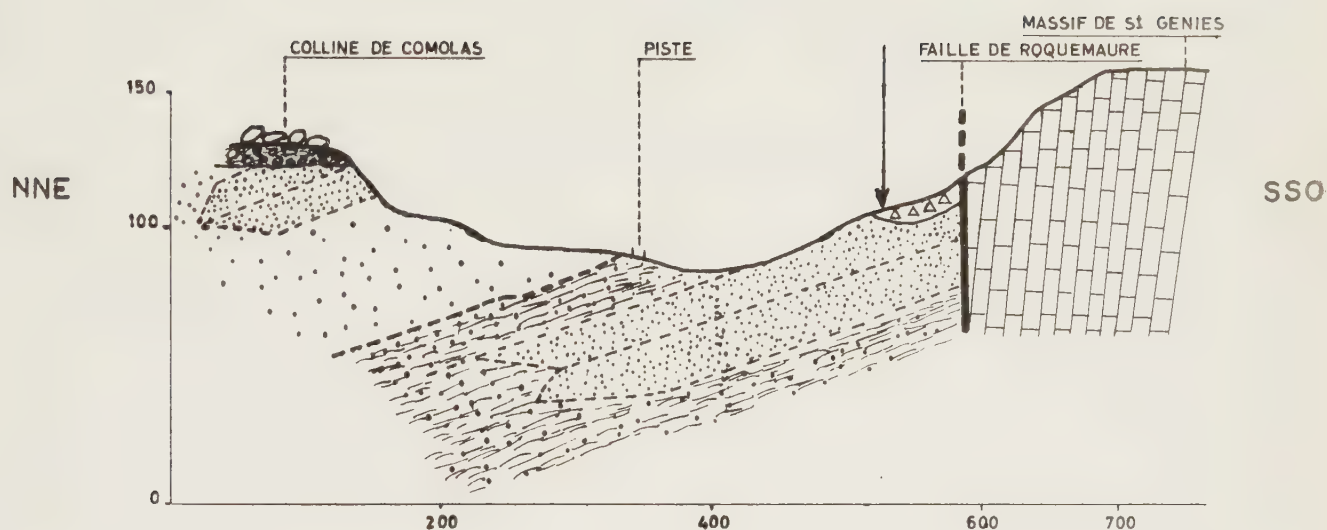


Pendage général : 6°50

☉ Concretion calcaire blanchâtre

Echelle : 1/100

COUPE AB



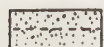
Eboulis de pente - éléments calcaire dans une matrice sableuse



Galets du Villafranchien



Poudingue de base du Villafranchien à ciment calcaire



Sables gréseux, stratifiés en bancs plus ou moins compacts avec traces ferrugineuses



Sables meubles jaunes



Sables argileux bleu grisâtres



n4ua - Barremien Supérieur à faciès urgonien

commence l'Astien par un affleurement de sables gréseux, plus ou moins compacts, avec de nombreuses traces ferrugineuses. Cet affleurement gréseux donne le pendage général du dépôt pliocène ainsi que la direction des couches, en supposant toutefois que la faille de Roquemaure n'a pas joué pendant ou après le dépôt du Pliocène. Ce pendage est de l'ordre de 10°N . La direction des couches est W-E. Viennent ensuite les sables meubles, jaunes, siliceux, qui passent progressivement au faciès sables argileux au niveau de la piste, c'est l'Astien inférieur plus ou moins imperméable. Cette imperméabilité est mise en évidence par des flaques d'eau de pluie. Au-delà, vers la faille de Roquemaure, on retrouve les sables gréseux stratifiés de même orientation que ceux décrits plus haut.

Aux abords immédiats de la faille, on aborde une zone d'éboulis de pente, débris anguleux du Barrémien supérieur, ainsi que quelques débris de rognons de silex provenant de la Barre, le tout pris dans une matrice terro-sableuse.

Tout cet ensemble Plio-Quaternaire est en contact avec le Barrémien supérieur par une faille verticale.

Au-delà de cette faille, c'est le Barrémien supérieur à faciès urgonien redressé presque à la verticale avec un pendage moyen de 75°N .

III - LE QUATERNAIRE.

La description du Quaternaire récent sera basée sur nos observations faites sur le terrain, alors que pour le Quaternaire Moyen et Ancien (Terrasses) nous compléterons nos observations par les constatations de certains auteurs, tel : A. Bonnet (1963) (1), qui ont publié de nombreux essais sur les terrasses de la vallée du Rhône.

Nous rencontrons le Quaternaire récent dans la vallée alluviale du Rhône, dans les dépressions de Pujaut et de Traslepuv, aux abords des massifs calcaires sous forme d'éboulis de pente et dans certaines zones du Massif de Villeneuve, sous forme de remplissage éolien ou Quaternaire indifférencié (dolines).

En ce qui concerne les terrasses, on les trouve soit en contact avec les alluvions récentes (terrasses de 15 m) soit en discordance sur le Pliocène (Astien), sur le Miocène ou sur le Crétacé. En résumé, nous aurons les terrasses de bordure (Villeneuve et Sauveterre), les terrasses du Pliocène, (Forêt-de-Clary, Plateau de Maillac, Saint-Géniès, Montézargues), Terrasses du Plio-Mio-Crétacé (plateau d'Aguillon), Terrasse du Mio-Crétacé (Terrasse de Villeneuve-les-Avignon).

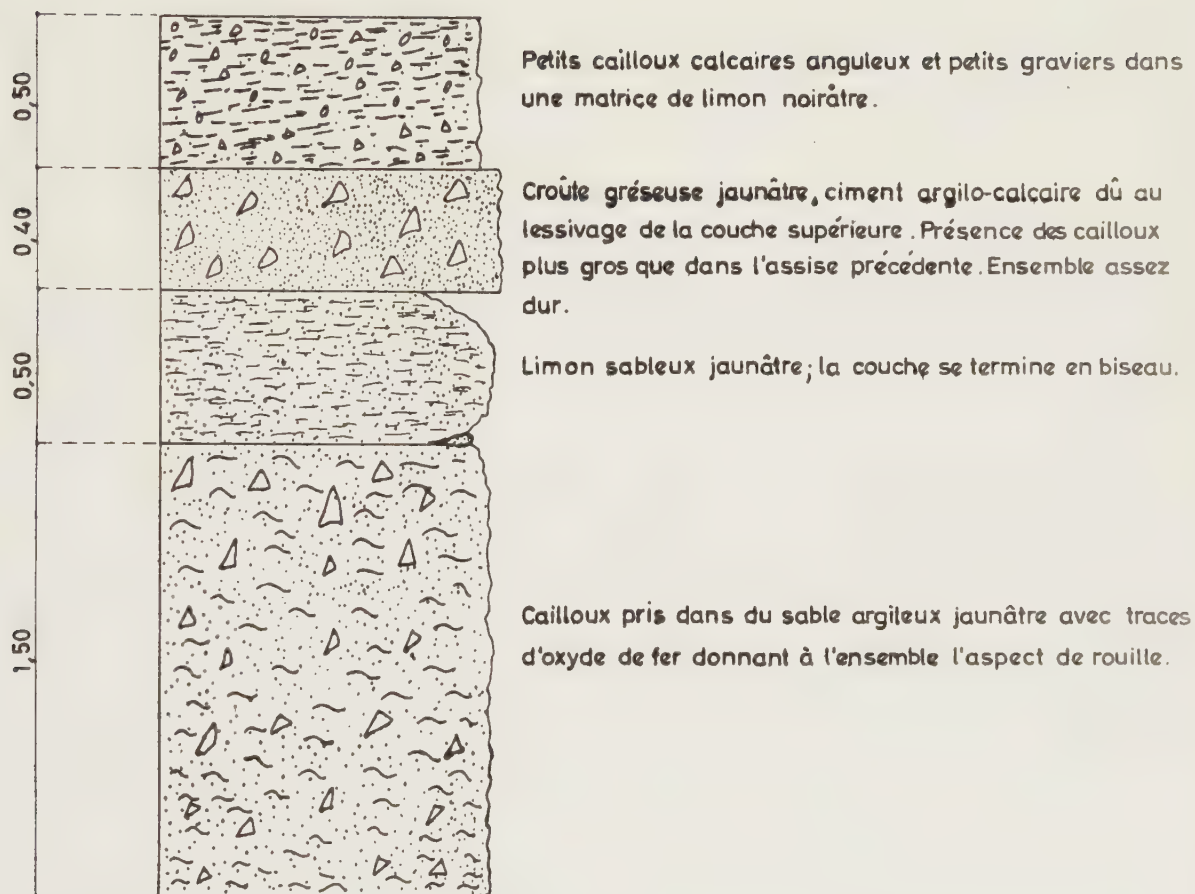
1 - Quaternaire récent.

a) - Alluvions récentes : (F_z pour la plaine alluviale du Rhône et L_z pour les zones occupant l'emplacement des anciens étangs).

Elles se composent en général d'un limon jaunâtre ou noirâtre selon les endroits, plus ou moins argileux ; quelques sondages de la C.N.R., de la S.N.P.A. et du Génie Rural du Gard (puits de Villeneuve) dans les alluvions récentes du Rhône nous ont montré le log suivant : limon noirâtre, plus ou moins argileux, tendre, d'une épaisseur variant selon les endroits entre 2,50 m et 5 m ; au-dessous de cette couche limoneuse, on trouve en général du gravier mélangé au sable fin suivi en profondeur par les petits galets du Rhône de nature quartzreuse. Ces derniers reposent en général sur les marnes. En ce qui

(1) : Bulletin de la Sté Géologique de France 7^e série - n° 4 - T.V - (p.543,553)

LOG STRATIGRAPHIQUE AU POINT 'J3' R.N 576



Pendage très faible de direction NE

Echelle : 1/25

sables (en exploitation). Le centre et le Nord de cet étang sont dominés par le limon très argileux et du sable par endroits.

Pour la dépression de Traslepuy, on a du limon très noirâtre, fortement argileux en surface et quelques mètres plus bas dans certains endroits, ce limon noirâtre devient franchement noir ; c'est la tourbe des paysans de la région.

Les alluvions de la dépression de Traslepuy sont en outre sableuses, car le Mistral qui souffle en longueur de l'année y apporte le sable de l'Astien qui affleure tout autour de cette dépression.

b) - Eboulis de pente.

Ces éboulis se localisent aux abords des différents massifs du Crétacé que nous avons décrits plus haut. La nature de leurs éléments est liée à celle des affleurements calcaires du massif. Les zones d'éboulis assez étendues se situent à la face nord du Massif de l'Aspre et aux deux faces nord et sud de la Montagne-de-Saint-Génies.

b₁ - Eboulis du Massif de l'Aspre :

Ces éboulis dont les éléments anguleux sont du Barrémien supérieur à faciès urgonien, ont une étendue relativement importante ; ils atteignent les abords de l'étang desséché de Traslepuy. Ils sont pris dans une matrice de terre rougeâtre - limoneuse vers le pied de la montagne, où les éléments sont assez gros.

Cette grosseur des éléments décroît au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la montagne, mais en contre partie, leur angles deviennent plus saillants, la matrice devient jaune et plus sableuse avec présence de petits bancs gréseux. Cette variété nous fait penser à de véritables éboulis lités. (log stratigraph. du Pt J₂ R.N. 576 - Pl. VIII), plus on se rapproche du quartier de Truel, plus la présence de galets quartzeux devient insistante dans les éboulis. Ces galets proviennent du Villafranchien du plateau de l'Aguillon. Vers la R.N. 580 les éboulis sont mélangés par endroits aux petits graviers et aux sables gris micacés du Rhône.

b₂ - Eboulis de la face Sud de la Montagne-de-Saint-Génies.

Cette zone d'éboulis est importante aussi bien en lon-

gueur qu'en largeur. Elle s'allonge sur près de 3 km et atteint au voisinage de la Forêt-de-Clary, une largeur de 700 à 800 m.

Les éboulis ici sont généralement de marno-calcaire pris dans une matrice terro-sableuse jaunâtre. Cependant à l'Est, coté Roquemaure, les éboulis sont du Barrémien supérieur, très dur, à angles vifs.

Ils sont par endroits enterrés par les sables apportés par les vents ce qui fait supposer l'importance de leur étendue ; cette étendue dépasserait les limites portées sur la carte des faciès.

b₃ - Eboulis de la face Nord de la Montagne-de-Saint-Génies.

Les éboulis sont tous du Barrémien supérieur. A l'Ouest, vers la colline de Comolas, ils sont pris dans du sable astien et au fur et à mesure qu'on s'éloigne de Comolas vers l'Est, la matrice sableuse cède le pas à une matrice argileuse grise qui fait penser au Plaisancien remanié de Pujaut. Certains de ces éboulis sont l'oeuvre de l'homme (exploitation des calcaires de la face Nord par la Société Ferro-Alliage d'Ardoise).

c) - Alluvions anciennes. (F_{YZ})

Elles avoisinent en général les alluvions récentes (F_z, L_z) ; elles sont constituées de gros graviers et de sables. Selon qu'elles avoisinent les alluvions du Rhône F ou L, le sable est gris, micacé ou jaune-bleuâtre. La couleur bleuâtre étant due aux marnes plus ou moins bleues du Pliocène. Dans les alluvions anciennes des abords de l'étang de Pujaut, on note la présence de cailloutis calcaires plats, à surface polie et aux angles émoussés, stratifiés. Entre les couches de ces cailloutis, il y a très souvent des minces couches de sable bleu-gris. Ces alluvions sont assez épaisses du moins si on en croit les dires de certains exploitants de graviers de la région.

d) - Remplissages éoliens (E.).

C'est surtout dans le Massif crétacé de Villeneuve-les-Avignon que l'on rencontre ce genre de phénomène. De nombreuses petites dépressions rappelant le paysage karstique de dolines sont éparpillées à travers le Massif. Le remplissage de ces dépressions est une terre jaunâtre mélangée à du sable éolien. Cette terre est plus ou moins argileuse car elle forme une sorte de pâte après la pluie.

Cette partie de l'étude intéresse en particulier les terrasses, ou plutôt des lambeaux de terrasses. Nous avons considéré et l'altitude et les résultats du spectre pétrographique de chacune des terrasses.

Le spectre pétrographique est une méthode que l'on peut baptiser de statistique. Elle consiste à échantillonner différents points d'une terrasse. A chaque point, on considère une population de 100 individus, et avec le marteau, on casse chaque galet, on détermine sa nature pétrographique qui peut être quartzreuse, quartzitique, cristallophyllienne, éruptive ou sédimentaire. On fait le pourcentage à chaque point, et pour l'ensemble de la terrasse on fait le pourcentage moyen de tous les points. Le classement des galets se fait en deux catégories :

a) - galets inaltérables ou altérables uniquement par frottement, choc et gel :

Ce sont les galets quartzreux ou quartzitiques.

b) - galets altérables. Les pluies et les eaux de ruissellement chargées de certains corps chimiques décomposent les éléments de ces roches, et les transforment en d'autres corps (biotite en kaolinite, dissolution du carbonate de calcium). Ces phénomènes de transformation entraînent dans le temps, la disparition de ces roches de la population totale d'une terrasse ou tout au moins, rendent leur présence insignifiante.

On se base donc sur ce classement pour donner un âge relatif à une terrasse. Les terrasses ayant plus de 90% de galets quartzreux ou quartzitiques sont les plus vieilles, car les éléments altérables ont disparus avec le temps. En général, on les classe dans les hautes terrasses. Les moyennes terrasses auraient plus de 50% d'éléments durs et les basses terrasses moins de 50%. Les résultats obtenus par cette méthode ne sont pas catégoriques, ils constituent un argument de plus dans la datation des terrasses.

En ce qui ^{nous} concerne, nous avons fait ce travail et avons obtenu les résultats suivants :

a) Forêt-de-Clary : éléments durs plus de 95%.

b) Plateau d'Aguillon : éléments durs plus de 95%.

- c) Plateau de Villeneuve : éléments durs plus de 85 %.
- d) Plateau de Maillac : éléments durs plus de 80 %.
- e) Plateau du Mont Pégueroirol (Nord de St-Génies) : éléments durs plus de 80 %.
- f) Colline-de-Comolas : éléments durs plus de 90 %.
- g) Colline-de-Montézargues : " " de 95 %.

Les altitudes de ces différentes terrasses sont :

- 1) Forêt-de-Clary : moyenne 125 m
- 2) Plateau d'Aguillon : moyenne 110 m
- 3) Plateau de Villeneuve : " 90 m
- 4) Plateau de Maillac : " 90 m
- 5) Plateau de Mont Pégueroirol : " 80 m
- 6) Colline-de-Comolas : " 120 m
- 7) Colline-de-Montézargues : " 110 m

A la lumière de cette étude, la Forêt-de-Clary, le Plateau d'Aguillon, la Colline-de-Comolas, la Colline de Montézargues, seraient, par leur composition de galets et par l'altitude, du Villafranchien. Monsieur André Bonnet, dans sa note au Bulletin de la Société Géologique de France (1963), après un essai de raccordements successifs des niveaux d'âge connu, tout en tenant compte de la pente des surfaces étudiées, ajoute à la liste donnée pour le Villafranchien plus haut, la terrasse du plateau de Villeneuve-les-Avignon reposant en partie sur le Crétacé et sur le Miocène.

Nous serions tenté de classer le Plateau de Maillac dans le Villafranchien, si nous considérons la pente entre ce lambeau et la Forêt-de-Clary, car cette pente semble décroître progressivement et régulièrement. Mais la composition pétrographique des galets, surtout aux abords de la terrasse en contact avec les sables astiens, nous en empêche. Nous la laissons dans la catégorie des terrasses moyennes avec celle du Mont Pégueroirol.

Il est très important de savoir que les galets de ces terrasses émigrent soit par gravité (Forêt-de-Clary côté Traslepuys) (Maillac côté Roquemaure) soit par les activités humaines (Montézargues). Cette émigration risquerait d'induire en erreur quant à ce qui concerne l'estimation de l'étendue de ces surfaces.

IV - TECTONIQUE.

La tectonique de cette région a été maintes fois évoquée par les anciens auteurs car cette zone est attenante à la région de Nîmes et paraît-il la faille de Nîmes passerait au Nord de la dépression de Pujaut. Monsieur Conquy de la S.N.P.A. dans son rapport (1962) a fait un chapitre sur la tectonique, il pense aussi au passage de la faille de Nîmes au Nord de Pujaut.

En examinant la carte des faciès, nous constatons que la direction dominante des accidents dans le Massif de Villeneuve et dans le Massif de l'Aspre, est SW - NE et la faille de Roquemaure est orientée WE. Tous ces accidents semblent se diriger en un point qui serait le centre de fracturation. Monsieur A. Bonnet dans sa note citée plus haut, place ce centre à Châteauneuf-du-Pape sur la rive gauche du Rhône.

Massif de Villeneuve.

Les failles principales ont la direction générale, SW - NE. Une grande faille sub-verticale mettant en contact le Quaternaire de l'étang de Pujaut et le Barrémien inférieur du Massif ne présente pas un tracé net. Au NE de Pujaut jusqu'à Four, cette faille met le Mio-Pliocène en contact avec le Barrémien supérieur, niveau des calcaires cristallins blancs, massif, à silex. Une multitude de failles secondaires se rencontrent dans ce massif, parallèles ou perpendiculaires à la direction principale, des plissements et de nombreuses cassures qui affectent les calcaires marneux de la bordure sud de l'étang de Pujaut. M. Conquy pense que cette fracturation secondaire est le résultat d'un phénomène de tassement différentiel, les marnes comprises entre les assises calcaires plus dures ont dû se débiter facilement sous l'effet des eaux résiduelles ou météoriques et provoquer des effondrements locaux lors de leur évacuation. Ces cassures seraient à l'origine des suintements d'eau qu'on remarque le long de cette paroi. Ce massif a une érosion de style karstique, et les eaux emmagasinées fuiraient à la faveur des cassures, phénomène beaucoup plus marqué dans la commune des Angles, située au Sud du Massif de Villeneuve au delà de notre territoire.

Massif de l'Aspre.

La faille SW-NE met le Barrémien supérieur en contact avec le Miocène, le Pliocène et le Villafranchien du Plateau d'Aguillon. Les cassures secondaires ont une direction privilégiée S SW - N NE reconnaissables sur le terrain par des zones de broyage imprégnées de calcite. Le Nord de ce Massif est directement en contact avec le Plio-Quaternaire de la dépression de Traslepu y ; il est probable qu'une faille limite ce flanc nord, mais rien sur le terrain ne nous a donné cette impression. Cependant, dans la coupe C.D. , semi-interprétative (Pl. IX), passant par la dépression de Traslepu y, nous essaierons tout à l'heure d'émettre d'hypothèse d'une faille qui passerait dans cette face nord du Massif.

Montagne de St-Géniès.

La faille de Roquemaure forme la limite nord de ce massif crétacé. Elle lui donne l'aspect d'une énorme falaise surplombant la vallée du Rhône. De direction W-E, elle présente un tracé rectiligne, de pendage variant entre 70° et 80°N. D'après les travaux des géophysiciens le rejet serait important de l'ordre de 100 à 200 m. Cette faille qui se prolonge à l'Ouest vers St-Laurent-les-Arbres et à l'Est, vers Château-neuf-du-Pape à travers les alluvions du Rhône, met en contact le Pliocène et le Barrémien supérieur (Voir Pl. VII et IX).

Cette faille ne semble pas avoir joué pendant et après les dépôts pliocènes, car, dans certaines crevasses et pseudo-grottes de la face nord, on y trouve des sédiments pliocènes ainsi que des traces de rivage pliocène.

Hypothèses sur la formation de la dépression de TRASLEPUY.

La coupe C-D (Pl. IX) entre le Massif de l'Aspre et la montagne-de-St-Géniès, nous présente du N NW - S SE, : le Pliocène à la face Nord du Massif-de-St-Géniès, la faille de Roquemaure, le Barrémien supérieur à faciès urgonien à fort pendage ; viennent ensuite les marno-calcaires du Barrémien inférieur du flanc sud du Massif, avec un net adoucissement dans l'inclinaison des couches calcaires en contact direct avec les éboulis de pente et les sables meubles de l'Astien ; la cote qui était de 150 m au sommet du Massif-de-St-

COUPE SEMI-INTERPRETATIVE CD



niès baisse progressivement jusqu'à une cote de 50 m au niveau de l'ancien étang formé par les alluvions récentes sous lesquelles on trouve les argiles ou sables argileux du Pliocène. On retrouve de l'autre côté de la R.N. 576 les calcaires du Barrémien supérieur à faciès urgonien, mais à une cote moyenne de 100 m, dénivellement de 50 m environ par rapport aux mêmes calcaires de la Montagne-de-St-Géniès. Dans le Massif de l'Aspre les calcaires ont, au point D, un pendage de 15°SO.

Pour la formation de cette dépression, nous pensons qu'elle serait due à des failles en gradins. Nous supposons qu'il y ait eu tout d'abord un grand accident orienté SW - NE comme toutes les grandes cassures de la région séparant le Massif de l'Aspre du Massif-de-St-Géniès. Cet accident noyé par les dépôts postérieurs aurait été suivi d'une série de petites failles d'effondrement de part et d'autre de l'axe central créant ainsi une dépression. Cette seconde phase de mouvements des terrains aurait entraîné le jeu d'une nouvelle faille, assez importante, parallèle à l'accident principal, en bordure nord du Massif de l'Aspre, abaissant de ce fait le lambeau de Barrémien supérieur à faciès urgonien de l'Aspre, par rapport à celui de St-Géniès et adoucissant le pendage des couches calcaires de ce Massif.

La mer pliocène serait donc venue postérieurement déposer les sédiments dans la dépression, ces sédiments seraient plus ou moins argileux ce qui justifie la présence d'un étang. L'épaisseur des dépôts du Pliocène serait importante car le forage pour l'alimentation en eau de la ferme "la Poissonnière" a été arrêté à 90 m de profondeur sans rencontrer le substratum calcaire.

Nous évoquerons la formation de cette dépression dans la partie du travail réservée à l'hydrogéologie ; elle peut avoir son intérêt pratique en ce qui concerne l'alimentation en eau des populations des agglomérations environnantes.

V. - Importance de la tectonique pour l'hydrogéologie dans cette région.

Les nombreuses failles qui sillonnent cette région peuvent constituer un véritable réseau d'écoulement souterrain dont les capacités et l'importance sont ignorées. Prenons le cas des puits portant les numéros P.70 (St-Bruno), P. 110 et S. 107, ces puits sont situés dans la zone où passe le tracé de la faille de Pujaut, or, d'après les dires de leurs propriétaires, ces puits sont intarissables, on peut y pomper tant qu'on veut et l'eau y arrive au fur et à mesure.

Nous pensons que ces puits sont alimentés par le réseau constitué par la faille de Pujaut qui draine une partie des eaux du karst du Massif de Villeneuve car ces eaux venant de la Montagne rencontrent l'argile plaisancienne qui forme le fond de l'étang de Pujaut, la seule issue possible qui leur reste à suivre, c'est la zone de broyage de la faille. La valeur de la résistivité dans ces trois points d'eau est identique (1 500 ohms/cm approximativement à 20° c).

Cette hypothèse peut s'appliquer aux zones affectées par les autres failles. Nous donnerons quelques considérations sur le karst de cette région à la fin de l'ouvrage, mais il reste beaucoup à faire à ce sujet (inventaire des réserves du karst, mise en évidence de l'importance du drainage par failles). Nous n'avons pu, à notre grand regret, entreprendre ce travail, faute de moyen. Nous avons quand même établi les principales données permettant d'effectuer une telle étude.

VI - CONCLUSION.

Nous n'avons pas la prétention de présenter une véritable étude géologique. C'est avant tout une étude des faciès ; nous avons essayé de limiter les zones avec précision. La connaissance de ces faciès nous permet de déterminer les zones de recharge et de drainage des nappes et les rainures. Ce qui nous permette de faire remarquer cependant qu'il se pose un problème de limite entre le Miocène et le Pliocène dans la zone de Pujaut (à l'Est). Les limites portées sur les cartes géologiques quelques feuilles d'Avignon au 1/30.000^e 1^{ère} et 2^{ème} édi semblent pas être justes, car dans cette zone il y a renouvellement intense des terrains chaque année (travail de la vigne), ce qui occasionne un mélange de faciès et même de fossiles.

Nous avons donc modifié cette limite qui changera encore dans l'avenir. D'ailleurs le dernier sondage de 536 m fait par la S.N.P.A. dont nous avons eu connaissance après notre dessin, sondage situé en plein dans le Plaisancien (carte géologique au 1/80.000° - Avignon), montre 7 m. d'argile sableuse jaunâtre, avec galets calcaires ou siliceux, et nombreux débris coquilliers (ceci nous faisant penser au quaternaire) suivies des argiles ou marnes gris-pâle, finement sableuses et micacées du Miocène moyen.

Après l'étude schématique de la géologie et avant d'aborder le chapitre sur l'hydrogéologie, nous avons pensé que, placer l'examen de quelques coupes des sondages, comme transition entre la géologie et l'hydrogéologie, serait utile.

Par la géologie, nous connaissons les zones de recharge des nappes ainsi que les zones de drainage, mais le changement en profondeur des faciès observés à la surface peut apporter des grands bouleversements quant au cheminement de l'eau. L'examen des sondages s'avère donc nécessaire.

Les sondages nous permettrons, avant l'étude proprement dite d'hydrogéologie, de pouvoir estimer la puissance de l'aquifère des nappes étudiées et d'avoir, en appliquant certaines formules, une idée sur la perméabilité des terrains, perméabilité qui a son importance dans l'estimation des réserves d'eau souterraine.

Nous allons successivement étudier les sondages de la C.N.R, les coupes approchées des terrains réalisées à l'aide des sondages de la C.N.R et de la S.N.P.A, enfin, quelques sondages des P.C de Nîmes ainsi que la coupe approchée des terrains à l'aide de ces sondages. Ces dernières coupes nous permettrons de donner l'ordre de grandeur de la perméabilité des terrains par application des formules basées sur l'analyse granulométrique, et d'apporter quelques nouveaux éléments aux hypothèses de la formation de l'étang de Traslepuu et de son importance hydrogéologique. Nous nous permettrons d'avertir le lecteur que les sondages que nous présentons sont négligeables quant à leur profondeur. Les plus profonds atteignent 35 m (C.N.R) et dans les sondages des P.C pour la déviation de la R.N. 580 la profondeur moyenne demeure autour de 4 m, donc faute de mieux nous nous sommes servi des seuls renseignements existants.

1) Les sondages de la CNR que nous avons utilisés intéressent deux zones, l'île de la Barthélasse, en face de Villeneuve-les-Avignon et la zone située au Nord de Villeneuve entre la voie du chemin de fer et le Rhône. Tous ces sondages sont situés dans la nappe alluviale du Rhône.

L'île de la Barthélasse présente une épaisseur d'aquifère proprement dite de l'ordre de 12 m comprenant : sables, graviers et galets du Rhône, le substratum étant des marnes du Miocène. Au-dessus de cette aquifère on rencontre une épaisseur de terrain de 3 à 5 m gorgé d'eau et constitué par du limon sableux du Rhône. Dans nos coupes approchées des terrains nous avons assimilé cette épaisseur de limon sableux à l'aquifère ce qui nous donne une moyenne de 15 m d'aquifère dans l'île de la Barthélasse. La coupe approchée de terrain obtenue à l'aide des sondages (A_4 , A_{49} , A_{47} et RA_{66} , Pl. X) nous donne l'image de l'allure de l'aquifère proprement dite, alors que la coupe approchée du profil RIP4, (Pl. XI) montre l'allure de l'aquifère prise dans le sens large englobant le limon sableux.

Les sondages se trouvant au Nord de Villeneuve (Pl. XII), ainsi que les coupes approchées (Pl. XIII) et du profil R_1P_2 (Pl. XIII) montrent une épaisseur d'aquifère environ de 10 m et pouvant atteindre par endroits les pointes de 20 m. Cette aquifère est de la même nature alluvionnaire que celle de la Barthélasse, elle est surmontée de limon sableux ce qui porte son épaisseur moyenne à 15 m en considérant le limon sableux comme faisant partie de cette aquifère (R_1P_2). Le substratum de l'aquifère est un calcaire massif du Crétacé, fissuré, Au fur et à mesure qu'on approche du Rhône ce substratum devient marneux. Ces calcaires fissurés constituent à notre avis une réserve d'eau souterraine qui ne serait peut-être pas négligeable.

Toujours dans cette nappe alluviale, proximité de Sauveterre, nous avons réalisé une coupe approchée des terrains à travers l'île de l'Oiselet, grâce aux forages de la SNPA, profil M_2P_8 (Pl. XIV). Ici encore, l'aquifère a la même constitution que dans les zones précédentes, c'est-à-dire sables, graviers, galets du Rhône, et du limon sableux. L'épaisseur moyenne

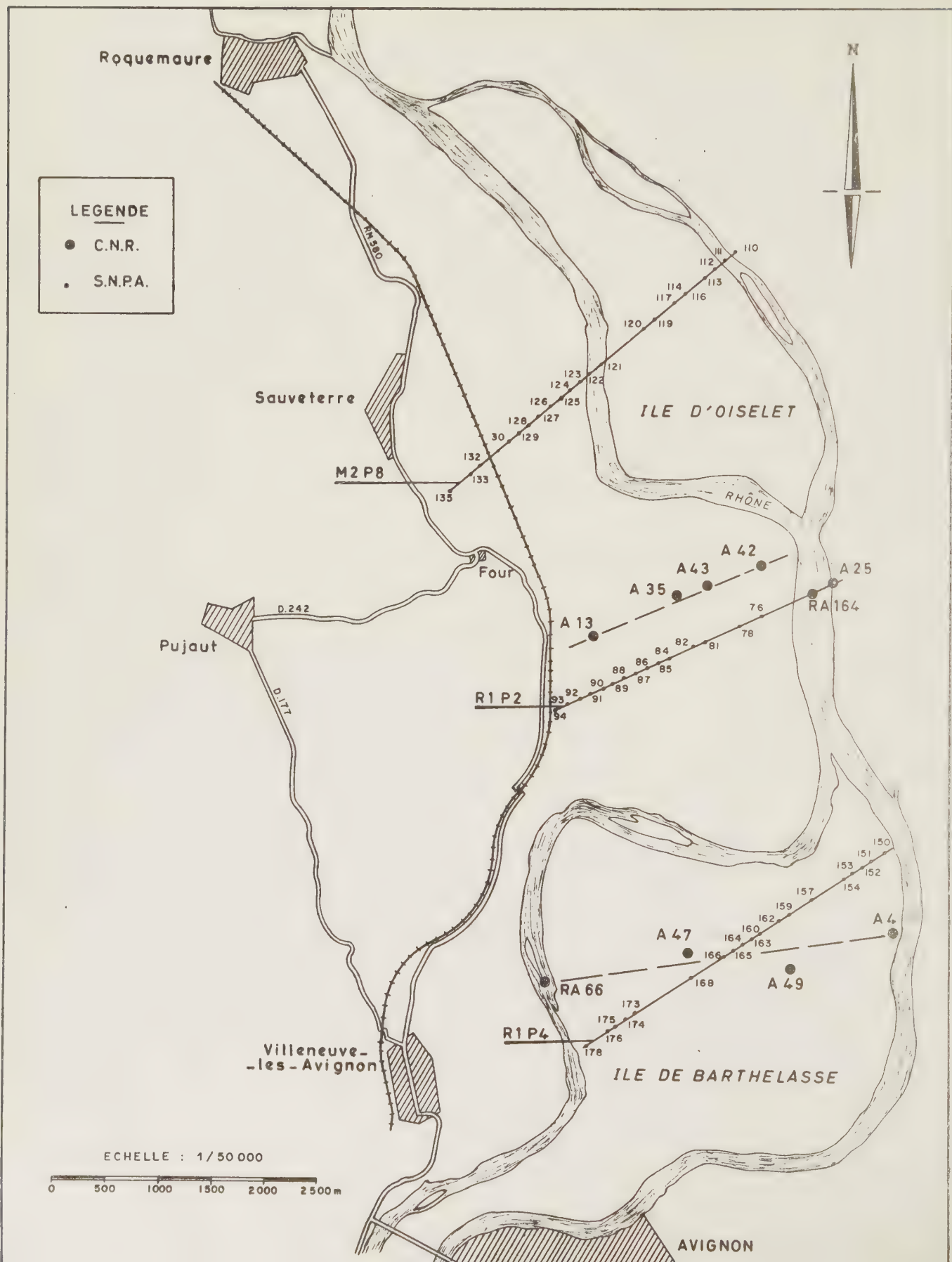
est environ de 15 m . Le substratum est constitué par les marnes du Miocène qui affleure à Sauveterre.

Dans l'ensemble, la nappe alluviale du Rhône, dans la partie qui intéresse notre travail, a une épaisseur moyenne de 15 m, l'aquifère est constitué généralement de haut en bas par le limon sableux, du sable, des graviers et des galets. Le substratum étant soit des marnes, soit des calcaires du Crétacé. Cette homogénéité de la constitution de l'aquifère, bien que modifiée par endroits par la présence des lentilles d'argile, nous amènera à extrapoler des caractéristiques hydrogéologique, de l'aquifère de quelques points d'essais, à l'ensemble de la nappe.

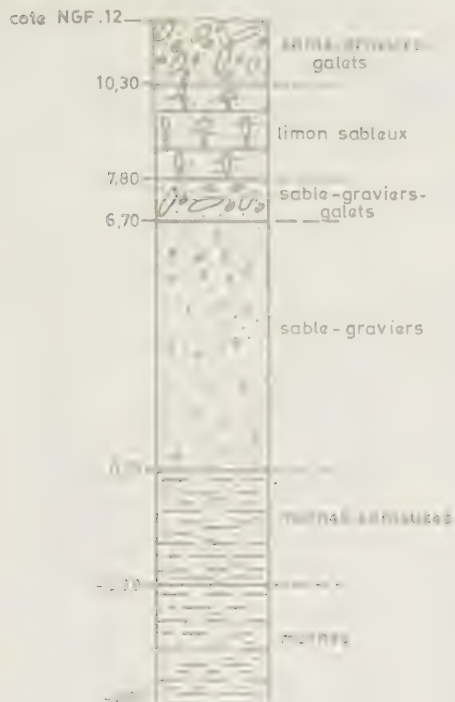
2) Pour les sondages des Ponts et Chaussées de Nîmes intéressant la zone intérieure de notre région de travail, nous avons réalisé une coupe approchée des terrains (PL XVI) entre les sondages 32 et 3. Cette coupe se situe à l'Ouest de l'étang de Traslepuy. Elle nous montre du N NW - S SE des sables jaunes de Saint Laurent de part et d'autre de la coupe. Entre les sondages n° 34 et 35, nous avons l'apparition des argiles brunâtres, au-dessous desquelles on retrouve les sables jaunes. A notre avis, ces argiles descendraient vers l'étang de Traslepuy, dont elles constitueraient le fond tout en formant le toit d'une nappe astienne plus ou moins captive. Plus bas au sondage 38 on trouve de la tourbe ou plutôt des argiles noires, puis à l'extrême S SE, à partir du sondage n° 1, on retrouve les argiles brunâtres.

A la vue de cette coupe, nous pouvons supposer que les argiles brunâtres des sondages 1 à 3 s'étendraient vers le N NW , formant une lentille qui serait le substratum de la nappe astienne dont le toit serait les argiles des sondages 34 à 35. Ce même substratum ne pourrait être à son tour qu'un toit d'un autre niveau aquifère situé plus bas et peut-être beaucoup plus important, si l'on considère nos hypothèses sur la formation de la dépression de Traslepuy, émises dans la partie géologique de cette étude.

PLAN DE SITUATION DES SONDAGES DE LA S.N.P.A. ET DE LA C.N.R.



SONDAGE CNR. N° RA 66



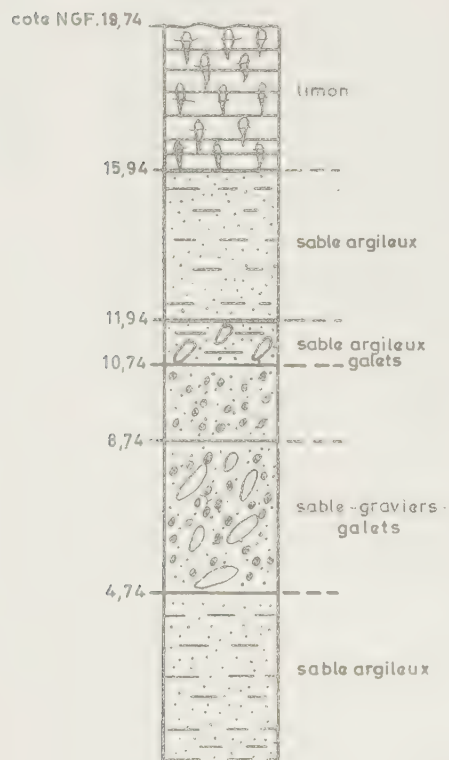
SONDAGE CNR. N° A47



SONDAGE CNR N° A49



SONDAGE CNR N° A4



15 8 7 6 5 4 3 2 1

BRAS DE VILLENEUVE

180

40

19

13

13,0

10

10

10

06/08/2007

1999

277

E

22-

抄本

1

22

Page 20

[illegible]

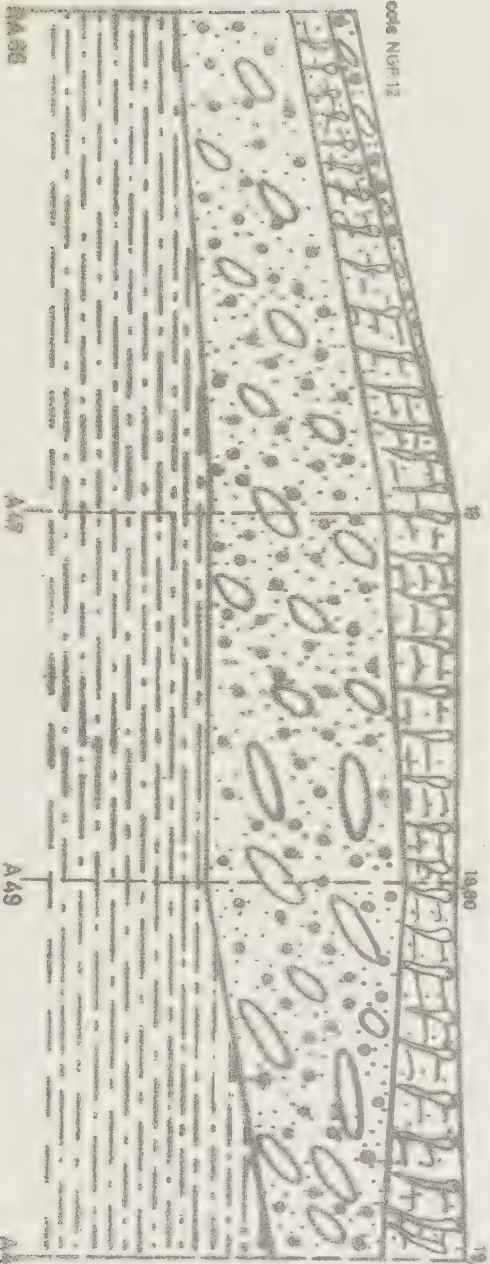
guisones moyenne de l'équidre : 15 m
BEMELLES { hauteurs : 1/800
longueurs : 1/20 000

A.50...KA37 sondages CNR - 770...750 foros de la SNPA

Ilmon-sahe-g'edore ei g'edre formant l'aquiro
ma'ra

COUPE APPROCHEE DES TERRAINS DE LA BARTHELASSE (SONDAGES CNR)

code NUFF.12



Wheat, better known as
the golden grain

മരണം, സുഖീയം അല്ലാത്ത
അ പരലോകം ഒരു ശാശ്വത
നഷ്ടം ആണ്.

[illegible]

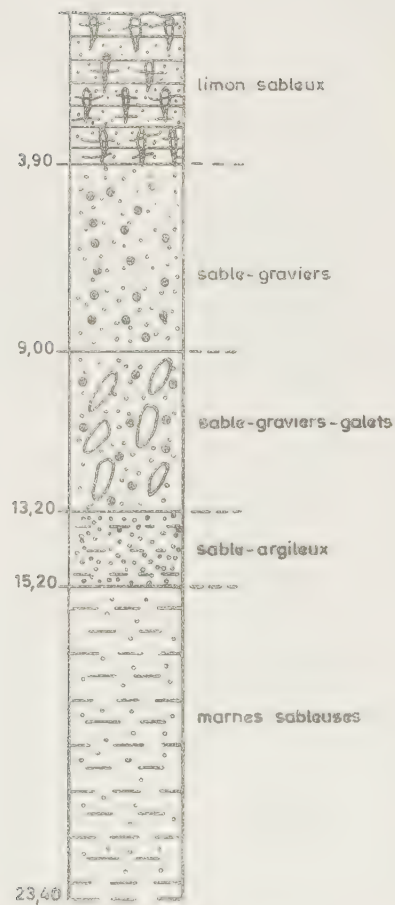
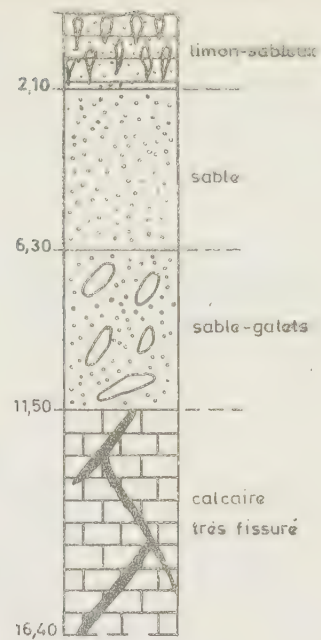
REMBELLES - Langueurs: 1/20 000 hauteur: 1/500.

SONDAGE CNR. N° A13



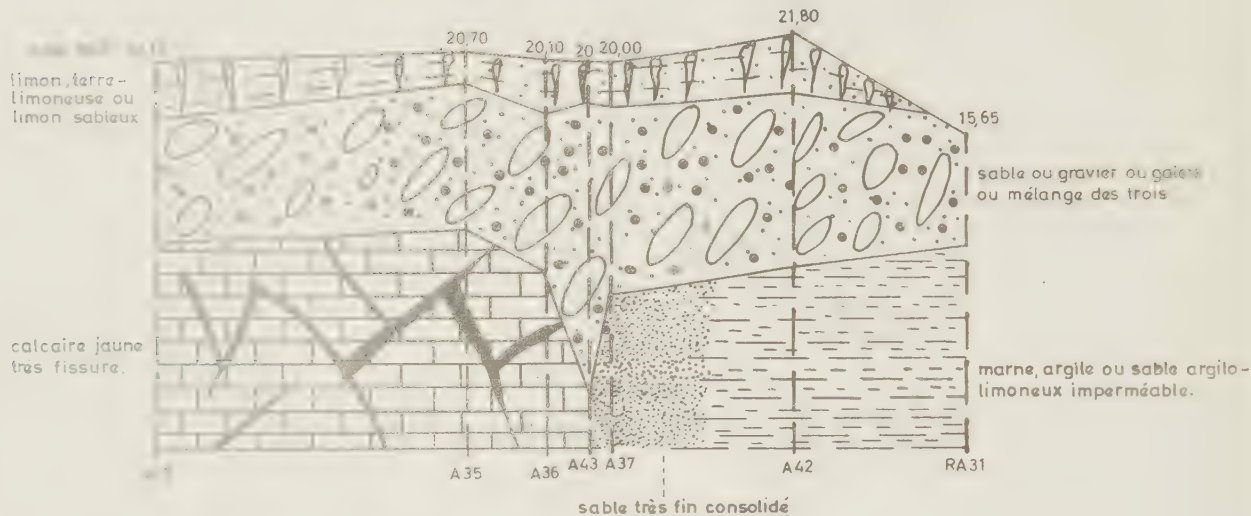
SONDAGE CNR. N° A43

SONDAGE CNR. N° A35



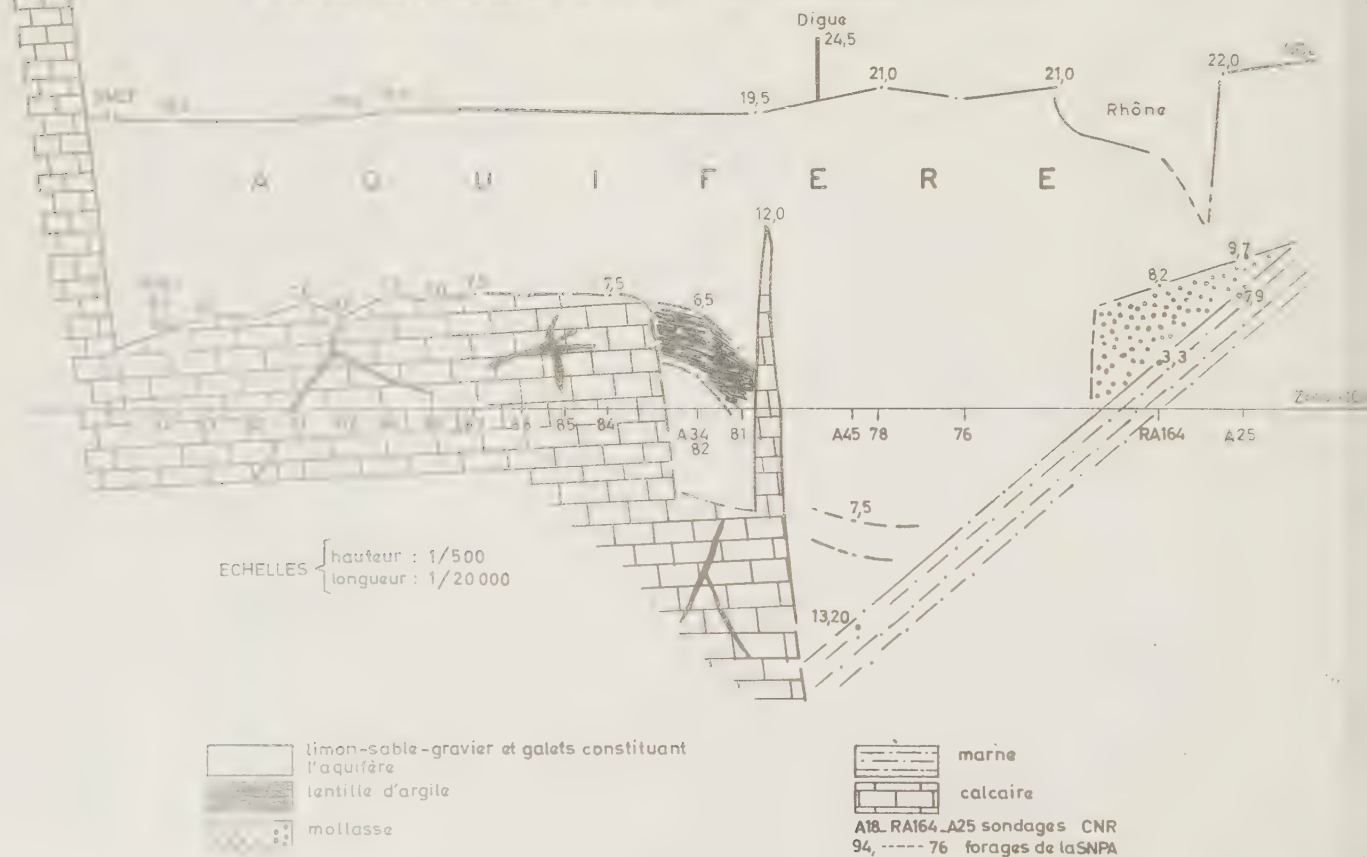
SONDAGE CNR. N° A42

COUPE APPROCHEE DES TERRAINS DANS LA PLAINE ALLUVIALE
DU RHONE (NORD DE VILLENEUVE)

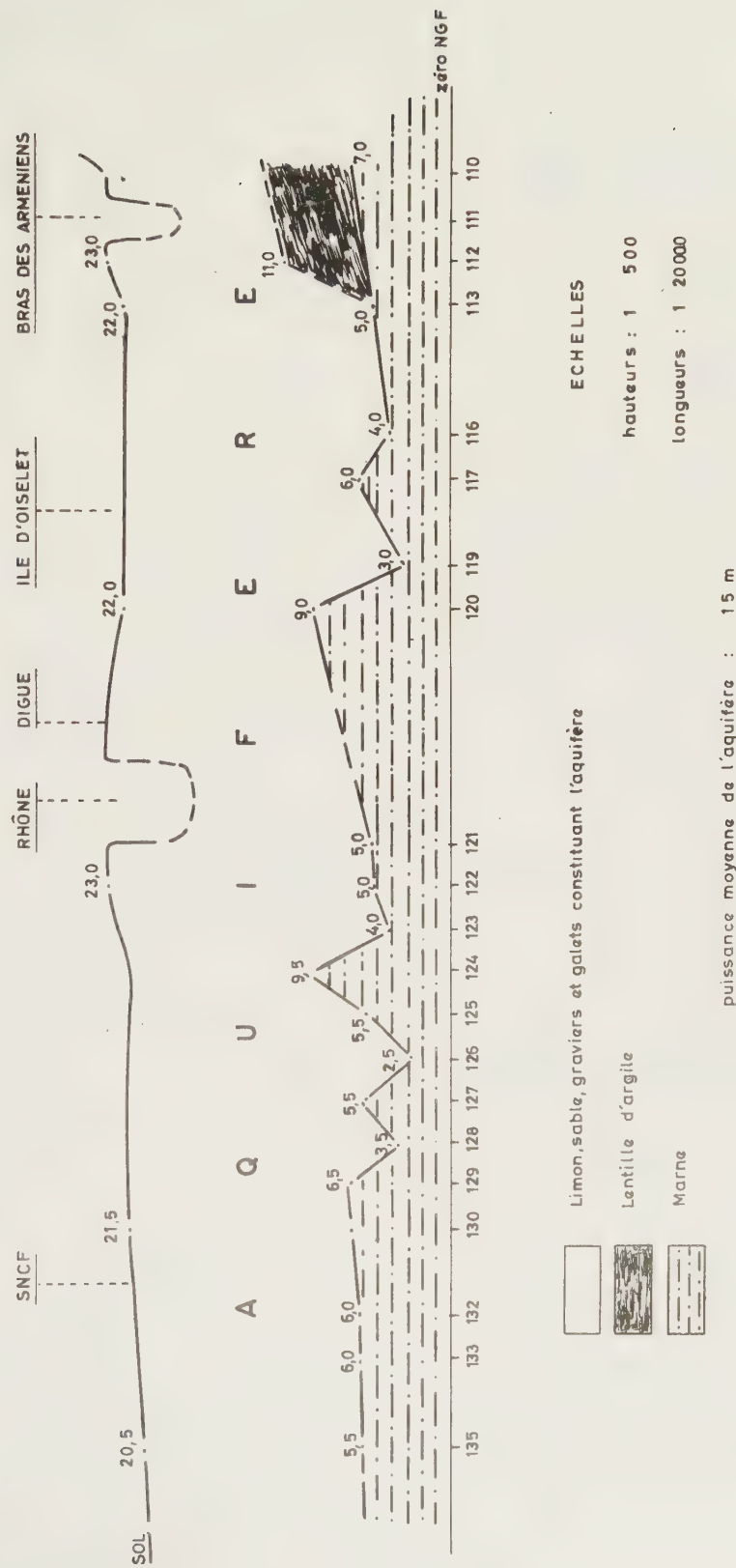


R1P2

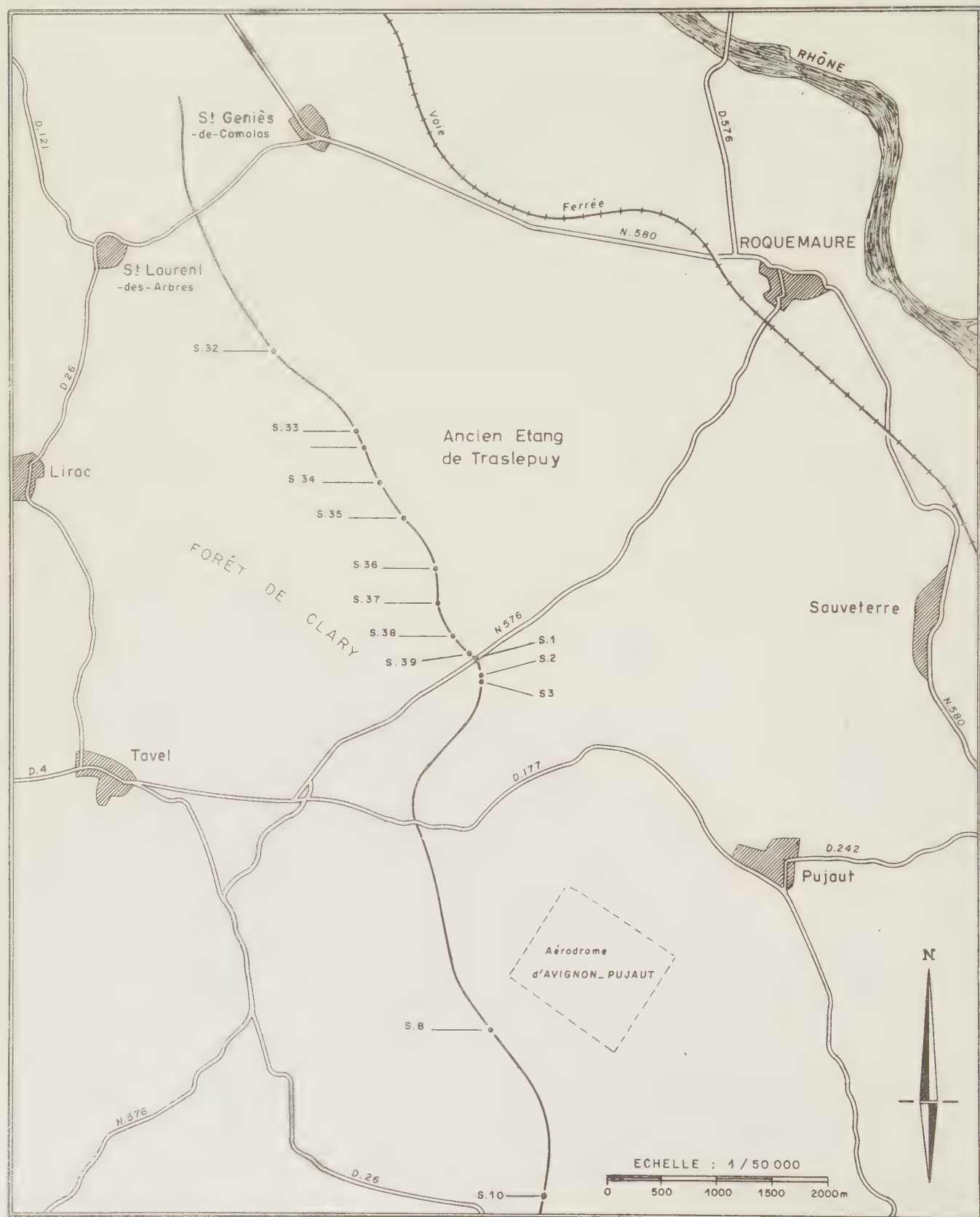
COUPE APPROCHEE DES TERRAINS ETABLIE A L'AIDE
DES FORAGES (SNPA). SONDAGES (CNR)



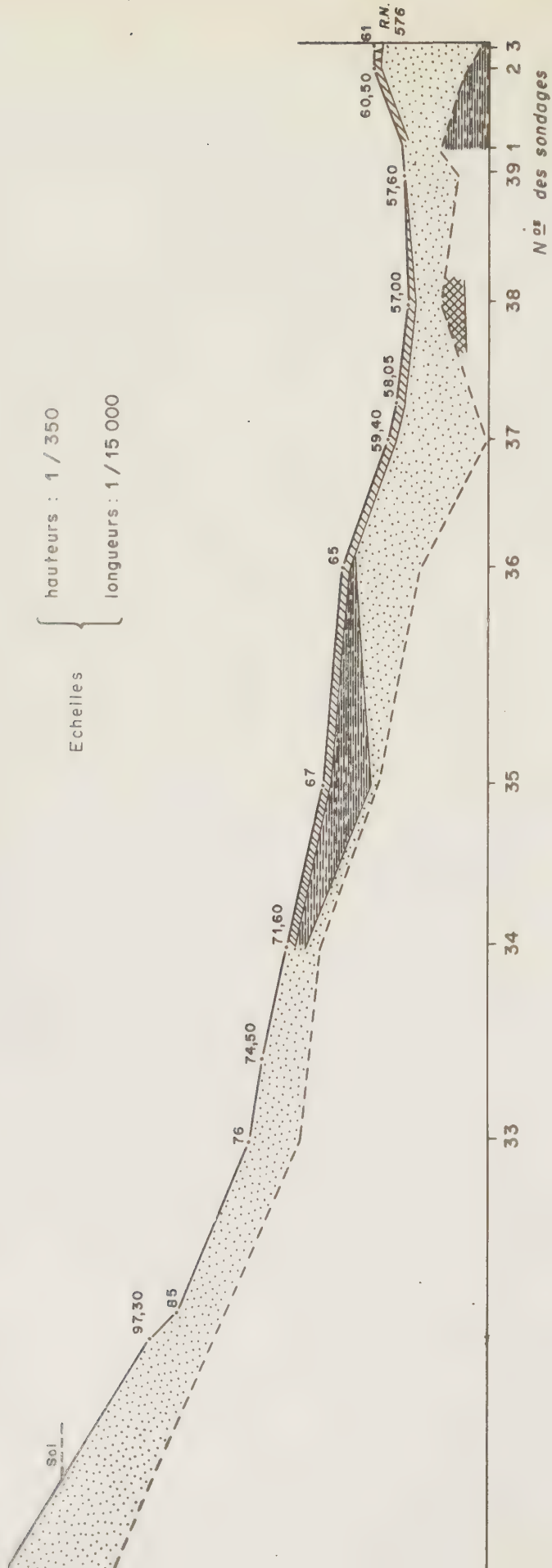
M2P8 _ COUPE APPROCHEE DES TERRAINS ETABLIE A L'AIDE DES FORAGES (S.N.P.A)



PLAN DE SITUATION DES SONDAGES P.C NIMES



Echelles
hauteurs : 1 / 350
longueurs : 1 / 15 000



LEGENDE

- Terre végétale.
- Eboulis de pente.

- Tourbe ou plutôt marne noire.
- Sables siliceux jaunes.
- Argile brunâtre

Dans ce cas, l'alimentation de ce réservoir naturel que constituerait la dépression serait assurée par la Forêt-de-Clary (Villafran-
chien) à l'Ouest, le plateau de Maillac (moyenne terrasse) à l'Est, au Nord
par la Montagne-de-St-Géniès et au Sud par le Massif de l'Aspre.

Les forages exécutés par les paysans dans cette dépression
pour l'alimentation en eau domestique et pour l'arrosage, montrent qu'après
avoir traversé une couche d'argile, on atteint une nappe plus ou moins en char-
ge donnant satisfaction aux multiples besoins en eau pendant l'été. Il serait
peut-être utile de bien étudier cette dépression afin de mettre en évidence son
importance pour l'alimentation en eau des populations de la Commune de Roque-
maure.

3) Certains des sondages des P.C. de Nîmes vont nous permettre
de calculer le coefficient de perméabilité des sables jaunes, des argiles à
l'Ouest de l'Etang de Pujaut ainsi que des sables argileux gris-bleu au Sud
de ce même étang. Par ces calculs, nous nous proposons de donner l'ordre de
grandeur du coefficient de perméabilité.

Comme éléments de travail, nous avons des courbes granulo-
métriques des sédiments de ces différents sondages (3-8-10-32-36), courbes éta-
blies au Laboratoire départemental des Ponts et Chaussées de Nîmes. Les échan-
tillons étaient prélevés à différentes profondeurs pendant le sondage. Nous dé-
terminons graphiquement les grandeurs d_{10} , diamètre efficace pour lequel il y
a 10 %, en poids de sédiments, des grains inférieurs à ce diamètre, et le d_{60} ,
diamètre pour lequel il y a 60 %, en poids de sédiments, des grains inférieurs
à ce diamètre, d_{10} nous servira au calcul des coefficients de perméabilité. Le
rapport d_{60}/d_{10} : encore appelé coefficient d'uniformité de la formation nous
donnera une idée de la porosité du milieu.

Nous appliquons pour ce calcul, la formule d'Allen Hazen :

$$K = 100 \frac{d_{10}^2}{d_{60}}$$

ce qui nous donne l'ordre de grandeur de K réel du milieu étudié.

Sondage 3.

$$\begin{aligned}d_{10} &= 0,036 \\d_{60} &= 0,36 \\K^{60} &= 100 (0,036)^2 = 1.10^{-3} \text{ cm/s ou } 1.10^{-5} \text{ m/s.} \\U &= d_{60}/d_{10} = 100\end{aligned}$$

Sondage 32.

$$\begin{aligned}d_{10} &= 0,002 \text{ cm} \\d_{60} &= 0,02 \\K^{60} &= 100 \times (0,002)^2 = 4.10^{-4} \text{ cm/s ou } 4.10^{-6} \text{ m/s.} \\U &= d_{60}/d_{10} = 10\end{aligned}$$

Sondage 36.

$$\begin{aligned}d_{10} &= 0,003 \text{ cm} \\d_{60} &= 0,3 \\K^{60} &= 100 \times (0,003)^2 = 9.10^{-4} \text{ cm/s ou } 9.10^{-6} \text{ m/s.} \\U &= d_{60}/d_{10} = 100\end{aligned}$$

Sondage 8.

$$\begin{aligned}d_{10} &= 0,00019 \text{ cm} \\d_{60} &= 0,0025 \\K^{60} &= 100 \times (0,00019)^2 = 4.10^{-6} \text{ cm/s ou } 4.10^{-8} \text{ m/s.} \\U &= d_{60}/d_{10} = 10\end{aligned}$$

Sondage 10.

$$\begin{aligned}d_{10} &= 0,008 \text{ cm} \\d_{60} &= 0,02 \\K^{60} &= 100 \times (0,008)^2 = 6.10^{-3} \text{ cm/s ou } 6.10^{-5} \text{ m/s.} \\U &= d_{60}/d_{10} = 2,5\end{aligned}$$

Les sondages 3,32,36, étant faits dans l'Astien sableux, nous pouvons leur affecter un coefficient de perméabilité qui peut-être considéré comme la moyenne arithmétique des valeurs trouvées pour chacun des sondages. Soit $K_{\text{astien}} = 8.10^{-6}$ m/s. Nous insistons encore sur le fait que cette valeur du coefficient de perméabilité ne représente qu'un ordre de grandeur de coefficient réel. Ces sables se situent dans l'intervalle de mauvaise perméabilité c'est-à-dire $10^{-7} < k_{\text{astien}} < 10^{-3}$ (d'après M. Castagny)

Les coefficients d'uniformité de ces trois sondages astiens varient beaucoup.

Pour le sondage n°3 U = 100, ce qui traduit une granulométrie extrêmement variée, la coupe de ce sondage confirme ce résultat mathématique car, on voit, sur 0,10 m de la terre végétale puis sur 0,80 m de la grave sableuse avec des éléments de 20 à 60 m/m de diamètre qui sont des éboulis de pente du Massif de l'Aspre, ensuite, c'est une épaisseur de 2,00 m de sable jaune et de galets de 5 à 20 m/m de diamètre suivie d'une autre épaisseur de 2,00 m de sable jaune, sans galets ; enfin on traverse 1,00 m de sable argileux. La même confirmation pour le coefficient d'uniformité 100 du sondage 36 est donnée par la coupe de ce dernier qui montre une granulométrie très variée. On y rencontre deux niveaux d'argile.

La porosité des terrains représentés par les sédiments des sondages 3 et 36 est très faible dans l'ensemble car plus U tend vers l'unité, plus la porosité est grande.

Pour le sondage 32, les résultats du calcul sont confirmés par l'examen de la coupe. Nous sommes en présence d'une épaisseur de 6,00 m de sable fin jaune, sans d'autres éléments étrangers. Le coefficient d'uniformité pour ce sondage est de l'ordre de 10. La porosité de ce milieu serait donc plus grande que celle des formations représentées par les sondages 3 et 36.

Le sondage 8, à l'Ouest de l'étang de Pujaut donne un coefficient de perméabilité qui est de l'ordre de $k = 4.10^{-8}$ m/s l'ordre de grandeur classé par Castagny dans la zone des terrains imperméables. C'est normal pour un terrain argileux comme celui-là. Cependant U est de l'ordre de 10, la coupe montre très bien la presque-uniformité des sédiments. La porosité de ces argiles n'est donc pas négligeable.

Enfin, au Sud de l'étang de Pujaut, au sondage n° 10, l'ordre de grandeur de k est plus grand par rapport à celui des précédents sondages, il est de 6.10^{-5} m/s. On peut constater que le diamètre efficace des grains d_{10} est de 0,008 cm alors qu'il atteint faiblement 0,003 dans les précédents sondages. Le coefficient de perméabilité varierait donc proportionnellement avec le d_{10} . Ici, on a rencontré l'eau à 1,80 m sous le sol, et l'aquifère a une puissance de 3,70 m. D'après le coefficient U, qui est de l'ordre 2,5, nous pouvons dire que la porosité de cette formation est grande et intéressante; c'est le secteur occupé par la zo-

ne de passage de la faille de Pujaut.

L'étude des sondages des P.C nous a permis d'avoir une idée sur l'ordre de grandeur de la perméabilité des terrains explorés, perméabilité liée à la distribution granulométrique des grains. Faute d'étude beaucoup plus précise nous pourrions utiliser la valeur moyenne des coefficients de perméabilité calculés ci-dessus pour déterminer la transmissivité des différents aquifères intéressés par ces coefficients.

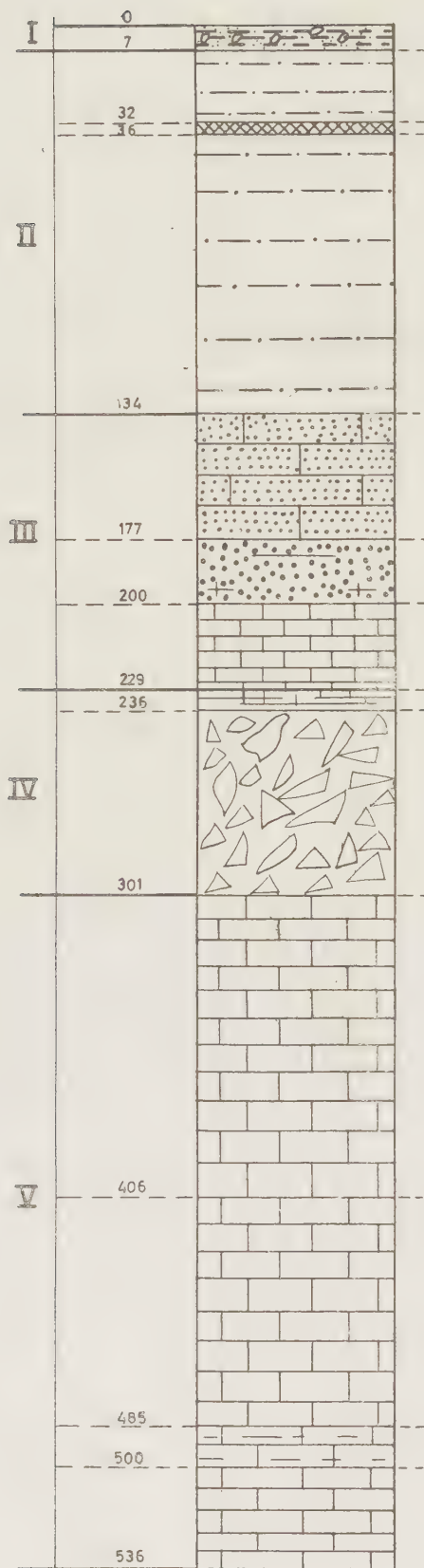
Pour conclure sur l'étude des sondages, nous donnons une coupe de sondage de la S.N.P.A à Pujaut d'une profondeur de 536 m (Pl. XVII). L'examen de cette coupe ne révèle pas la présence en profondeur d'un horizon aquifère proprement dit. Cependant les calcaires du Crétacé peuvent favoriser des circulations souterraines d'eau par leurs nombreuses fissures constituant ainsi un véritable drain.

Les coupes des différents sondages (S.N.P.A - C.N.R) ainsi que les coupes approchées des terrains nous ont permis d'avoir une estimation approchée de la puissance de l'horizon aquifère de la nappe alluviale dans la partie intéressant notre étude. C'est ainsi que nous avons déterminé cette puissance égale à 15 m. Les sondages de la région de Pujaut, ainsi que ceux situés à la limite est de la Forêt-de-Clary, sondages des P.C de Nîmes, nous ont permis, grâce aux courbes granulométriques des sédiments, d'estimer des différentes valeurs du coefficient de perméabilité K.

4) Conclusion :

Les valeurs données dans cette étude des sondages (puissance de l'aquifère, valeurs de k, ainsi que de U), ne sont que des estimations qui donnent l'ordre de grandeur de la valeur réelle et permettent faute de cette valeur réelle, la connaissance en grand des possibilités hydrogéologiques de la région étudiée.

SONDAGE SNPA PUJAUT_GARD



Coordonnées Lambert

x = 796,540

y = 192,590

z = 55,10

Feuille d'Avignon
au 1/20 000

I QUATERNAIRE

II VINDOBONIEN

III BURDIGALIEN

IV OLIGOCENE

V CRETACE INFÉRIEUR

Echelle : 1/2 500

SONDAGE SNPA PUJAUT - GARD -

I - QUATERNAIRE -

- De 0 à 7 m : argiles sableuses jaunâtres avec galets calcaires ou siliceux, nombreux débris coquilliers.

II - VINDOBONIEN -

- De 7 à 134 m : argiles gris-pâle, finement sableuses et micassées, légèrement calcaires, admettant des intercalations de lignites entre 32 et 36 m ; foraminifères, ostracodes, débris d'échinodermes et de gasteropodes.

III - BURDIGALIEN -

- De 134 à 177 m : grès calcaires et calcaires gréseux jaunes très organogènes (foraminifères, algues, bryozoaires, lamellibranches), localement glauconieux et limoniteux, admettant de nombreuses intercalations d'argiles sableuses plus ou moins calcaires et ferrugineuses.

- De 177 à 200 m : grès argilo-calcaires gris, moyennement grossiers, glauconieux, passant localement à des calcaires cristallins blancs à gris ou à des calcaires gréseux et glauconieux blancs à gris avec intercalations des marnes sableuses grises; nombreux échinodermes.

- De 200 à 229 m : calcaires cristallins organogènes (algues foraminifères, échinodermes, bryozoaires, lamellibranches) gréseux au sommet et glauconieux à la base.

IV - OLIGOCENE -

- De 229 à 236 m : marno-calcaires beiges à tiges de charophytes.

- De 236 à 301 m : brèche polygénique formée d'éléments des calcaires argileux gris-beige, et à partir de 290 m de nombreux éléments de calcaires argileux roux. Ces éléments sont cimentés par les marno-calcaires ou des

calcaires argilo-sableux gris clair à gris vert ; quelques passées argileuses ou marneuses.

V - CRETACE INFERIEUR -

- 301 à 406 m : calcaires beiges, durs et compacts, microcristallins à cristallins ; foraminifères ; fins débris d'échinodermes et de lamellibranches.

- 406 à 536 m : calcaires gris-beige à beiges devenant argileux à partir de 485 m ; finement pyriteux, légèrement glauconieux à partir de 500 m ; durs et compacts, admettant de nombreuses et fines intercalations de marno-calcaire grisâtres, faiblement sableux, glauconieux à partir de 500 m (foraminifères, spicules, fins débris d'échinodermes et de mollusques.

HYDROGEOLOGIE

Dans cette partie de l'étude, nous allons aborder les problèmes spécifiquement hydrogéologiques. Bien que n'ayant pu niveller les points d'eau de la région intérieure de la zone qui nous a été attribuée, nous tâcherons de mettre en évidence les grandes entités hydrogéologiques. Nous étudierons plus en détail la nappe alluviale du Rhône car ici nous bénéficions des piézomètres de la CNR. Ceux-ci nous permettront de présenter les cartes en courbes piézométriques des basses eaux, et des hautes eaux.

Nous divisons cette partie de l'étude en 5 :

I - Anciens travaux de captage et d'assèchement.

II - Hydrologie de Surface comprenant la description des cours d'eau qui drainent la région étudiée, les sources, l'étude de la pluviométrie, l'essai du calcul de Bilan, l'influence du vent.

III - L'hydraulique souterraine : 1^o) Piézométrie (cartes en courbes piézométriques, leur interprétation et les essais de calcul de certaines caractéristiques de l'aquifère ainsi que quelques propositions pratiques).

2^o) Essais de débit.

IV - Hydrochimie : différentes cartes d'isovaleurs et leur interprétation ; graphiques d'analyses chimiques et leur interprétation ; essai de classement de différentes nappes aquifères par les résultats des analyses chimiques des eaux ; Conclusion.

V - Conclusions : Problème des eaux ferrugineuses dans la nappe alluviale du Rhône et conséquences pratiques du point de vue de l'alimentation en eau potable des populations de Roquemaure par les réserves d'eau de la dépression de Traslepuys.

I - ANTIENS TRAVAUX DE CAPTAGE ET D'ASSECHEMENT DES ETANGS.

Lors des études de géologie et des sondages, nous avons dit un mot sur les zones d'alimentation que constituent les hautes terrasses (Villafranchien) et les terrasses moyennes, en particulier, la moyenne terrasse du plateau de Maillac.

1^o) Travaux de Captage.

Les anciens habitants des environs du plateau de Maillac s'alimentaient en eau domestique grâce aux eaux qu'ils soutiraient du plateau. Le sommet du plateau est couvert de galets. L'épaisseur de cette formation nous est inconnue. Cette granulométrie est favorable à l'infiltration rapide des eaux de surface, mais ces eaux rencontrent en profondeur l'Astien marneux qui ralentit leur mouvement descendant et favorise plus ou moins leur accumulation. Par des galeries souterraines ou par des tranchées pavées et recouvertes, les hommes recueillaient les eaux qui descendaient par gravité du plateau jusqu'aux habitations. C'est ainsi que la ferme qui porte le nom de Maillac était alimentée en eau et l'est encore par une tranchée qui part du haut de plateau, tranchée recouverte, mais possédant de nombreux voyants sur toute sa longueur servant à son entretien.

Cette tranchée est orientée EST-OUEST : une conduite permet à ces eaux de couler dans un bassin situé dans la cour des maisons d'habitation de la ferme de Maillac.

Une ancienne galerie de captage nous a été signalée aux environs de Truel quartier Sud de Roquemaure. Cette galerie serait orientée S SE - N NW. Son axe serait donc dans la direction du plateau de Maillac.

Ce sont les seuls anciens travaux de captage dont nous avons entendu parler.

Pour ce qu'il y a des travaux d'assèchement, ils concernent les anciens étangs de Pujaut et de Traslepuy. (Géologie du Gard "d'EMILE

DUMAS).

2°) Travaux d'assèchement.

a) Etang de Pujaut.

L'assèchement de cet étang a débuté en 1602. Les eaux de l'étang sont drainées vers le Rhône par la "roubine" de Grès d'une part recevant à sa partie amont les eaux de la "roubine" des Fontaines et un ruisseau qui descend de Tavel, par la "roubine" de l'Etang d'autre part venant de l'étang de Saze. Après un parcours souterrain de 1 km pour la "roubine" de Grès et un kilomètre trois-cent cinquante mètres pour la "roubine" de l'Etang, les deux "roubines" se rejoignent à deux kilomètres à l'Ouest de Four avant d'aller se jeter dans le Rhône. Ces travaux avaient été réalisés par les Chartreux.

b) Etang de Traslepuv.

Son assèchement date de la même époque que celui de Pujaut. Ces eaux sont drainées par une "roubine" de huit kilomètres se jetant dans le Rhône après avoir traversé la Commune de Sauveterre.

II. HYDROLOGIE DE SURFACE

A. Les cours d'eau.

Le principal cours d'eau de la région étudiée est le Rhône. Il sert en même temps de limite est de cette région. Tous les autres petits cours d'eau s'y jettant. Dans cette partie de son parcours le Rhône coule approximativement N-S.

Nous divisons la région en petits bassins hydrologiques :

1. Bassin de Nizon au N-NW de Saint-Génès.

Le Nizon prend sa source dans le Crétacé de la Commune de Lirac. De sa source au Rhône le Nizon parcourt environ neuf kilomètres; une partie de ce parcours s'effectue dans le Néocomien et vers le Rhône, il entre dans le Pliocène.

2. Bassin de la "roubine" de Traslepuu.

Cette "roubine" sort de l'étang desséché de Traslepuu, et grossie par un petit ruisseau provenant du pied de la Barre de Roquemaure ; après un parcours W-E dans le Pliocène, elle change brusquement de direction pour couler N-S dans les alluvions du Rhône. Sa longueur est de huit kilomètres environ. Elle draine les eaux de la Commune de Roquemaure et de Sauveterre.

3. Bassin de la "roubine" du Grès.

Cette "roubine" coule W-SE. La grande partie de son parcours se passe dans le Pliocène et c'est après Four seulement qu'elle rentre dans les alluvions du Rhône. Dans sa partie amont la "roubine" du Grès reçoit les eaux de la Fontaine de Tavel. Elle est grossie ensuite par la "roubine" qui sort de l'étang de Rochefort, puis par les eaux de l'étang de Pujaut, avant de recevoir après un parcours souterrain, à deux kilomètres de Four, les eaux de la "roubine" de l'étang de Saze.

Entre Four et la sortie du canal souterrain, la "roubine" du Grès draine les petites sources qui coulent toute l'année sur la rive droite.

- 59 -

Les eaux de ces sources proviennent probablement de l'écoulement souterrain que crée la zone de passage de la faille de Pujaut.

B. Le système des Sources.

Hormis la source s_2 dont l'origine serait probablement la faille de Pujaut, les autres sources que nous avons inventoriées proviennent toutes du Villafranchien. C'est le cas des sources 3 - 4 - 5. Elles viennent du plateau d'Aguillon après un cheminement à travers les galêts du Villafranchien, ces eaux rencontrent en profondeur soit le Pliocène argileux (source n° 3 et 4) soit le Miocène marneux (source n° 5). Elles s'accumulent et l'inclinaison des assises imperméables aidant, jaillissent au jour sous forme de sources. Le 16 et le 17-11-1964, nous avons mesuré respectivement les débits des sources s_2 et s_3 . Pour la première, nous avons trouvé $Q = 0,066 \text{ l/s}$ et pour la deuxième $Q = 0,019 \text{ l/s}$. Ce qui équivaut à un débit journalier de $S_2 : Q = 3,700 \text{ m}^3/\text{j}$ et $S_3 : Q = 1,640 \text{ m}^3/\text{j}$. Nous pouvons juger par ces chiffres que les pertes d'eau occasionnées par les sources dans les nappes aquifères ne sont pas négligeables. Pour les sources S_4 et S_5 , il nous a été impossible de mesurer leurs débits, faute de moyens adéquats.

C. La Pluviométrie.

Pour toute étude d'hydrogéologie, il est nécessaire de connaître très bien l'apport des pluies dans le renouvellement des réserves naturelles. La valeur de cette quantité d'eau tombée ne peut être prise en considération que si la période des observations a été assez longue.

Pour obtenir ces renseignements, nous nous sommes adressés à M. Schenk secrétaire général de la Société d'Etude Météorologique du Gard et Cévennes dont les archives sont à Alès. Nous remercions très chaleureusement M. le Secrétaire Général du bon accueil qu'il nous a réservé. Nous avons trouvé dans ces archives les relevés pluviométriques du poste de Roquemaure, le seul se trouvant dans la région étudiée ; ce poste se trouve à 25 m d'altitude. La période des observations que nous avons relevées s'étend de 1887 à 1963 soit 77 années. Cette période est donc relativement longue.

Pour cerner avec précision la valeur moyenne de la hauteur d'eau tombée dans cette région, nous avons emprunté les méthodes de calcul à la statistique mathématique.

Dans le tableau 1, nous avons reproduit, sans aucun classement des hauteurs de précipitations pluviales annuelles de 1887 à 1963.

Avant d'entrer dans le calcul, nous allons classer les hauteurs des précipitations pluviales annuelles par ordre de grandeur croissant, ceci nous permettant de déterminer les valeurs extrêmes ainsi que l'amplitude de variation des valeurs. Le classement de ces valeurs est présenté dans le tableau II.

Valeurs extrêmes :

le minimum = 137 m/m

le maximum = 1041 m/m

L'amplitude de variation :

$h_{\text{Max}} - h_{\text{m}} = 1041 - 137 = 904 \text{ m/m}$

Considérons un intervalle de classes $K = 100 \text{ m/m}$, nous pouvons avec $h_{\text{Max}} - h_{\text{m}} = 904 \text{ m/m}$ constituer 9 classes.

Tableau II :

1ère colonne : c'est la colonne des classes
2ème colonne : c'est la colonne des valeurs centrales des classes (X)
3ème colonne : c'est la colonne des effectifs d'une classe (y)
6ème colonne : c'est la colonne des effectifs cumulés (yc)
7ème colonne : colonne des fréquences cumulées (Y)

Les colonnes 4 (yX et 5 (yX^2) étant introduites pour faciliter le calcul du module $\bar{H}$.

Il nous faut dès lors tester la distribution avant la détermination du module $\bar{H}$ et de l'écart-type, pour nous rendre compte si elle suit la loi normale quand bien même que nous ayons un nombre important d'échantillons (77).

Pour cela, nous construirons le polygone des fréquences de cet-

I - Tableau chronologique des hauteurs annuelles des pluies à Roquemaure.

Année	moyenne m/m	Année	moyenne m/m	Année	moyenne m/m
1887	723	1902	520	1937	508
8	867	3	539	8	571
9	554	4	774	9	467
1890	474	5	927	1940	525
1	631	6	667	1	721
2	648	7	682	2	493
3	453	8	404	3	587
4	431	9	344	4	427
5	771	1920	554	5	451
6	414	1	238	6	646
7	563	2	637	7	509
8	608	3	630	8	966
9	471	4	724	9	529
1900	258	5	420	1950	625
1	655	6	625	1	1041
2	317	7	683	2	438
3	532	8	571	3	750
4	489	9	318	4	694
5	508	1930	557	5	728
6	454	1	775	6	670
7	835	2	560	7	650
8	274	3	724	8	812
9	692	4	831	9	861
1910	668	5	137	1960	960
1	528	6	769	1	587
				2	566
				3	724

II - Tableau de classement des hauteurs des précipitations
pluviales moyennes annuelles par ordre croissant.

h m/m	h m/m	h m/m	h m/m
137	489	587	721
238	493	608	723
258	508 (2)	625	724
274	509	625	724
317	520	630	724
319	525	631	728
344	528	637	769
404	529	646	771
414	532	648	774
420	539	650	775
427	554	655	812
431	554	667	831
438	557	668	835
451	560	670	861
453	563	682	867
454	566	683	927
467	571	692	960
471	571	694	966
474	587	705	1041

te distribution (fig 1). La ligne brisée obtenue en joignant les centres des classes a une allure de la courbe en clôche, dite courbe de Gauss, qui témoigne la normalité d'une distribution. Le maximum étant dans la zone comprise entre 550 et 650 m/m. Cette courbe accuse un palier entre 250 et 350 m/m, puis monte à pente raide jusqu'à 450 m/m, la pente s'adoucit entre 450 et 550 m/m, de 550 à 650 m/m, elle descend à pente plus douce pour reprendre une pente raide de 650 à 850 m/m et de 850 à 1050 m/m, la pente redevient douce.

Pour confirmer ce premier test, nous avons procédé au test de la Droite de Henry qui met en évidence la normalité d'une distribution.

Le principe de cette méthode de tester consiste à représenter sur une abaque gaussienne les fréquences cumulées en ordonnées et les limites supérieures de chaque classe en abscisses. On obtient une série de points sur l'abaque ; à vue d'oeil on se rend compte si l'adaptation est possible en constatant que les points obtenus se trouvent approximativement sur une droite. Pour le tracé de cette droite, les points de la partie centrale sont les plus importants. Cette droite de Henry permet d'autre part de déterminer graphiquement l'écart-type d'une distribution supposée normale ainsi que la moyenne de la distribution. Pour cela, on trace sur l'abaque les droites $Y = \pm 0,3413$ ayant pour origine 0,50. La différence des abscisses des points d'intersection de $Y = \pm 0,3413$ avec la droite de Henry tracée sur l'abaque est égale à 2σ . La moyenne correspond à l'abscisse du point d'intersection de la droite $Y = 0,50$ avec la droite de Henry.

En ce qui concerne cette étude, nous avons représenté les points correspondant aux fréquences cumulées du tableau III sur la figure 2. Les points sont sensiblement alignés en particulier les trois points de la partie centrale avec celui correspondant à l'abscisse 300 mm. Nous considérons cette population des hauteurs moyennes annuelles de pluie comme obéissant à la loi normale.

A l'aide de cette droite, nous avons déterminé graphiquement l'écart-type $\sigma = (x_2 - x_1) / 2 = (761,7 - 429,4) / 2 = 166,15$ mm, et la moyenne de la distribution $\bar{H} = 598,8$ m/m. Nous ferons la comparaison des résultats graphiques avec ceux trouvés par le calcul.

TABLEAU III

classes	X	y	yX	yX ²	yc	Y = $\frac{yc}{N}$
200 - 300	250	3	750	187.500	3	0,0395
300 - 400	350	3	1050	367.500	6	0,0790
400 - 500	450	14	6300	2. 835.000	20	0,263
500 - 600	550	19	10.450	5. 747.500	39	0,514
600 - 700	650	17	11.050	7. 182.500	56	0,737
700 - 800	750	11	8.250	6. 187.500	67	0,882
800 - 900	850	5	4.250	3. 612.500	72	0,947
900 - 1000	950	3	2.850	2. 707.500	75	0,987
1000 - 1100	1050	1	1.050	1. 102.500	76	1

Soit N le nombre total d'échantillons : N = 77

T, la somme des produits yX

$$T = 46.000 \text{ m/m.}$$

$$yX^2 = 29. 930. 000 \text{ mm}^2.$$

POLYGONE DE FREQUENCE



Fig. 1

Abaque "GAUSSIENNE" DROITE DE HENRY

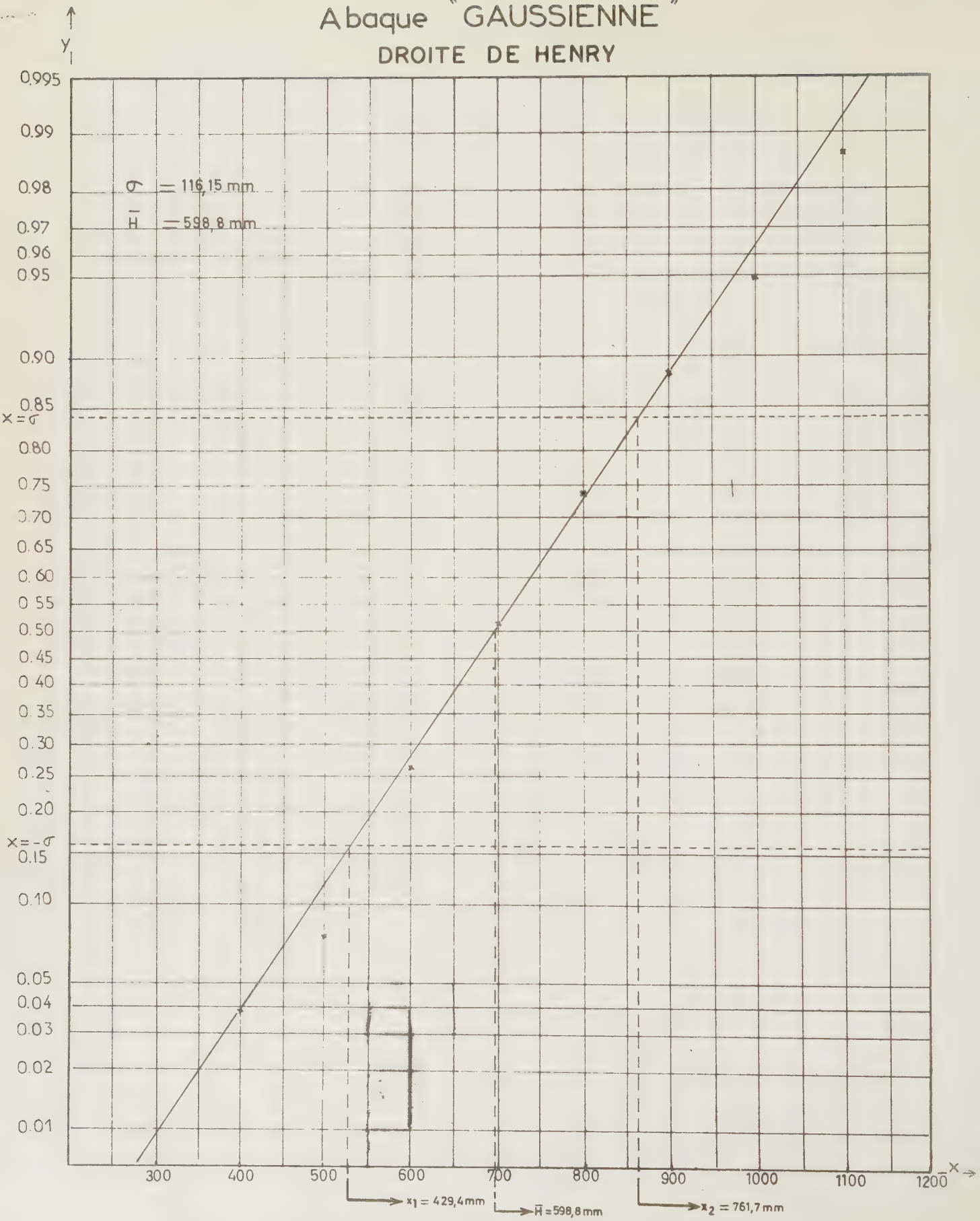


Fig. 2

Le polygone des fréquences et la droite de Henry représentée ci-dessus apportent la preuve que cette distribution est gaussienne et nous pouvons dès lors estimer la moyenne $\bar{H}$ et l'écart-type σ de cette distribution.

Sur le tableau III la colonne yX donne la somme des X , $\sum X = T$ car on multiplie la valeur centrale de chaque classe par l'effectif "y" de la classe et on fait la somme de tous ces résultats. Sur le même tableau, la colonne yX^2 donne la somme des carrés des valeurs centrales des classes $\sum X^2$

Connaissant T et N qui est le nombre total des individus de la population, on estime la moyenne par la formule

$$\bar{H} = \frac{T}{N} \quad (1)$$

$$T = 46.000 \text{ mm}$$

$$N = 77$$

$$\bar{H} = 46.000/77 = \underline{\underline{597,4 \text{ m/m}}}$$

C'est le module pluviométrique annuel estimé sur 77 années. Pour estimer l'écart-type nous calculons d'abord la variance qui n'est autre que le carré de l'écart-type : $v = \sigma^2$. Pour cela nous cherchons la somme des carrés des écarts pour toutes les classes entre X et $\bar{H}$ soit $\sum (X - \bar{H})^2$. Mais il est démontré dans les cours de statistique que $\sum (X - \bar{H})^2 = \sum X^2 - T^2/N$ et que $v = \sigma^2 = \frac{\sum (X - \bar{H})^2}{N-1} = \frac{N \sum X^2 - T^2}{N(N-1)}$ d'où

$$\sigma = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - T^2}{N(N-1)}}$$

$$\text{avec } \sum X^2 = 2.993.10^4 \text{ mm}^2$$

$$T^2 = 2.116.10^6 \text{ mm}^2$$

$$N = 77$$

$$\text{On a } \sigma = \sqrt{\frac{77 \times 2993.10^4 - 2116.10^6}{77 \times 76}} = \underline{\underline{166,08 \text{ mm}}}$$

Nous avons trouvé par l'estimation graphique $\bar{H} = 598,8 \text{ mm}$ et $\sigma_g = 166,15 \text{ mm}$. Ces deux séries des valeurs sont presque identiques en particulier pour

$$\sigma = 166,08 \text{ m/m}$$

$$\sigma_g = 166,15 \text{ m/m} \quad (2)$$

Pour $\bar{H}$ il y a une différence de 1,4 mm entre les deux estimations. Cette différence proviendrait soit de la précision du dessin, soit du mode de calcul utilisé

(1) La méthode de calcul est exposée dans les ouvrages spécialisés que nous signalons dans la bibliographie.

(2) σ_g = écart-type estimé graphiquement.

Le travail de l'estimation de la hauteur moyenne de pluie annuelle ainsi que l'écart-type de la distribution, étant terminé, la dernière opération consiste à donner un intervalle de confiance à la véritable hauteur moyenne de pluie annuelle $\bar{H}$. Bien qu'inconnue nous pouvons supposer $\bar{H}$ à l'intérieur d'une limite supérieure $\bar{H} + \xi$ et d'une limite inférieure $\bar{H} - \xi$

Nous allons d'abord chercher l'erreur type sur la moyenne estimée $\bar{H}$ soit E cette erreur, elle est donnée par la formule $E = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{166,08 \text{ m/m}}{\sqrt{77}} = 19,06 \text{ m/m}$. Nous considérons un seuil de confiance égal à 5 % ce qui signifie qu'il y a 95 % de chance pour que $\bar{H}$ valeur vraie du module soit comprise dans l'intervalle de confiance que nous allons définir. Le seuil de confiance de 5 % correspond sur la table de la loi normale réduite à 1,96. Les limites de confiance de l'intervalle sont $\bar{H} - 1,96E$ et $\bar{H} + 1,96E$; ce qui donne $\bar{H} - (1,96 \times 19,06) < H < \bar{H} + (1,96 \times 19,06)$

$$\text{soit : } [560,2 \text{ mm} < H < 634,6 \text{ mm}]$$

Nous pouvons considérer un module pluviométrique annuel dont la valeur est comprise dans cet intervalle de confiance comme sûr et nous pouvons utiliser une telle valeur dans le calcul du bilan hydrique de la région.

La précision de l'estimation est donnée par l'expression

$$r = \frac{1}{\sigma\sqrt{2}} \text{ soit dans notre cas } \left[r = \frac{1}{166,08\sqrt{2}} = 4.10^{-3} \right]$$

Nous calculons ci-après quelques rapports et coefficients tirés de cette étude donnant une idée de la variabilité des précipitations annuelles de la période (1887-1963).

$$\text{Valeurs extrêmes } \begin{cases} h_{\text{Max}} = 1041 \text{ mm -1951} \\ h_{\text{mn}} = 137 \text{ mm -1935} \end{cases}$$

Sachant que l'intervalle de variation de la distribution considérée est

$h_{\text{Max}} - h_{\text{mn}} = 904 \text{ mm}$, nous montrons que cet intervalle contient :

$$904 / 166,08 = 5,5 \text{ ou } [h_{\text{Max}} - h_{\text{mn}} = 5,5 \sigma]$$

Le coefficient de variation ou "l'irrégularité interannuelle" de Roche

$$I = \sigma \times 100 / \bar{H} = (166,08 \times 100) / 597,4 = 27,4 \%$$

- Rapport des écarts de l'intervalle de confiance sur $\bar{H}$ estimée, soit e ce rapport

$$e = \frac{1,96 \times E \times 100}{\bar{H}}$$

$$e = 6,17 \%$$

- Rapport des extrêmes donnant l'image des années sèches et humides

$$\frac{h_{\max}}{h_{\min}} = 7,6$$

Ce rapport est caractéristique pour chaque climat. Sa valeur 7,6 ici est un peu forte pour le climat méditerranéen qui est caractérisé par la valeur maxima de 5. Nous pensons que cette valeur élevée a pour cause l'influence du Mistral.

Ces chiffres montrent qu'au cours de la période considérée (1887-1963) les précipitations annuelles à Roquemaure n'ont pas été uniformes. Nous pensons, à notre avis, que ce manque d'uniformité aurait son origine dans la façon de mesurer les pluies tombées, c'est-à-dire que ce manque d'uniformité ne serait pas naturel, c'est plutôt un facteur humain (estimateur).

ESSAI de calcul du bilan hydrique.

L'estimation du module pluviométrique annuel n'est pas une fin en soi ; c'est un instrument de travail ; nous allons essayer maintenant, compte tenu de l'approximation des mesures de faire le bilan hydrique de cette région pour une année moyenne ; selon la formule $\bar{H} = \bar{E} + R + I$
E, évapotranspiration, R, ruissellement, I, infiltration.

Calcul de l'évapotranspiration supposée homogène dans toute l'étendue. Pour cette estimation, nous appliquons la formule de L.Turc

$$\bar{E}_r = \frac{P}{0,9 + \frac{P^2}{(300 + 25t + 0,05t^3)^2}}$$

P = module pluviométrique annuel $\bar{H}$ en mm

t = température moyenne annuelle en degrés centigrades

$\bar{E}_r$ = évapotranspiration réelle en mm.

Dans cette étude nous avons estimé $P = \bar{H} = 597,4$ mm. Les mesures de température moyenne annuelle faites dans les stations météorologiques limitrophes à la région étudiée sont résumées dans les tableaux ci-dessous.

Station d'Aramon à 14 m d'altitude.

Année	Température Mx	Température min.	Moyenne annuelle
1947	21,9	7,4	14,6
1948	21,6	7,6	15,1
1949	21,9	8,3	15,2
1950	21,3	7,5	14,4
1951	20,2	7,5	13,8
1952	21,2	7,4	14,4
1953	21,2	7,4	14,4
1954	19,6	7,2	13,5
1955	20,1	7,6	14
1956	18,4	5,4	12,5
1957	21	7,5	14,2
1958	20,1	6,8	13,5
1959	20,3	7,4	13,8
1960	19,8	7,3	13,7
1961	20,7	7,3	14
1962	19	6,8	12,9
1963	17,9	7	12,5
1964	19,6	8,3	13,4

La température moyenne interannuelle à cette station est de l'ordre de 14°C.

Station météorologique située au Sud de la région étudiée.

Station d'Uzès à 38 m d'altitude.

Année	Température Mx	Température min	Moyenne an.
1955	20,4	7,8	14,1
1956	18,6	6,8	12,7
1957	20,2	7,8	14
1958	19,7	7,5	13,5
1959	19,8	8,4	14,1
1960	19,1	7,4	13,3
1961	21,1	8,9	15
1962	19,1	8,3	13,8
1963	18	8	13
1964	18,9	8,3	13,6

La température moyenne interannuelle est 13° 7

Station météorologique située à l'Ouest de la région étudiée.

Station de Sabran à 60 m d'altitude.

Année	Température Mx	Température min.	Moyenne annuelle
1947	19,5	9,1	14,3
1948	19,7	8,7	14,2
1949	19,9	8,4	14,2
1950	20,1	8,3	14,2
1951	19,2	8,6	14,8
1952	18,8	9,3	14,1
1953	18,8	8,1	13,5
1954	18,7	7,5	13,5
1955	18,4	7,5	13,6
1956	17,9	6,7	12,5
1957	19,2	7,6	13,4
1958	19,7	7,6	13,7
1959	20,2	8	14,1
1960	19,2	7,5	13,4
1961	20,6	7,9	14,3

La température moyenne interannuelle est de l'ordre de 13° 90

Station météorologique située au Nord de la région étudiée.

Le Poste de Roquemaure n'est qu'un simple poste pluviométrique qui ne donne aucune indication sur la température ambiante. Pour le calcul de l'évapotranspiration, nous prenons la moyenne interannuelle donnée par les trois stations d'Armon, de Sabran et d'Uzès. Cette moyenne est de l'ordre de 14°C.

Nous obtenons donc
$$\bar{E}_r = \sqrt{0,9 + \frac{597,4}{(300 + 25 \times 14 + 0,05 \times 14^3)2}} \approx 498 \text{ mm}$$

Cette valeur de 498 mm représente les 81,7 % des précipitations pluviales annuelles qui repartent dans l'atmosphère. L'ordre de grandeur du ruissellement et de l'infiltration est donnée par la différence entre $\bar{H}$ et $\bar{E}_r$. Soit I l'infiltration et R le ruissellement, on aura donc :

$$R + I = \bar{H} - \bar{E}_r = 99,4 \text{ mm} \quad (1)$$

Nous résumons l'essai de bilan dans le tableau suivant.

$\bar{H}$	$\bar{E}_r$	R + I
597,4 mm	498 mm	99,4 mm
% 100 %	81,7 %	18,3 %

Avant de clore l'étude de la pluviométrie, nous donnons sur la figure (3) un graphique chronologique sur 77 années montrant les variations des modules annuels. L'examen de ce graphique nous permet de tirer les conclusions suivantes :

1^{re}) Les années de grande pluviométrie supérieure à 700 mm reviennent suivant un cycle qui tourne autour de 7 ans sauf en 1930 et 1936 où cette période de 7 ans a été raccourcie.

2^{de}) Les années de "pointe" de plus de 800 mm de pluie reviennent environ tous les 20 ans.

3^{de}) Enfin, les années qu'on peut qualifier de sèches dont le module annuel est de l'ordre de 300 mm reviennent tous les 15 ans environ et avoisinent souvent les années de "pointe" de plus de 800 mm.

Ces remarques peuvent nous permettre de prévoir les années où le manque d'eau se fera le plus sentir dans la région étudiée. Par exemple, d'après le graphique, en 1952, il y a eu une année plus ou moins sèche avec un module de l'ordre de 430 mm ; on peut prévoir que le même phénomène pourrait

(1) Nous avons assimilé E_r , évapotranspiration réelle à E, évapotranspiration potentielle.

se répéter en 1967. Cette figure apporte encore un soutien à l'estimation du module interannuel que nous avons donné plus haut, car nous voyons que sur les 11 modules annuels 65,4 % avoisinent la valeur estimée 597,4 mm, 9,9 % seulement sont au-dessous de 400 mm et 24,7 % au-dessus de 700 mm. La figure (4) montre les variations des modules mensuels pour la période considérée, il en ressort que le mois de juillet est plus sec alors que le mois d'octobre accuse le maximum de pluie

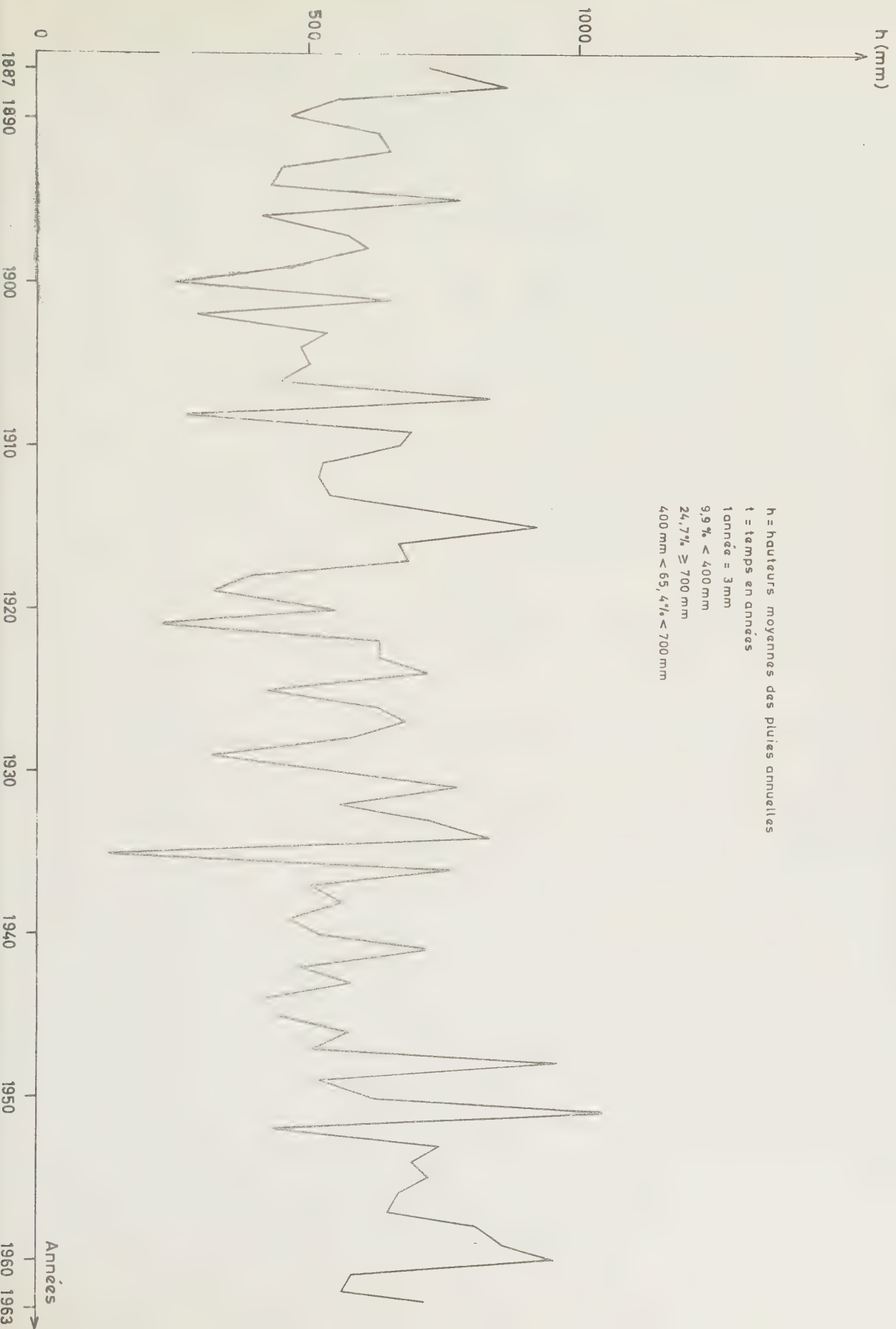
juillet = 25 mm
octobre = 80 mm

D - INFLUENCE DU VENT SUR LA VALLEE DU RHONE.

Tout le monde connaît le Mistral, vent soufflant en général N NO - S SE dans le couloir rhodanien. Il souffle en moyenne trois jours sur sept par semaine si ce n'est plus. C'est un vent asséchant, par conséquent, il renforce le phénomène de l'évapotranspiration. L'action asséchante du Mistral a été constatée par de nombreux paysans. Ils ont remarqué qu'après une période sans précipitations pluviales ou nivéales, mais pendant laquelle le Mistral a soufflé, surtout en hiver, lors du labourage, le soc de leur charrue pénètre péniblement dans le sol car, il s'est formé une croûte à quelques centimètres dans le sol. La nature de cette croûte n'est autre que du sable grossièrement aggloméré. Nous avons supposé que le vent a la même action que la chaleur du soleil. Il assèche la partie supérieure du sol par évaporation de l'eau, or cette eau montant par capillarité du sol, avant de s'évaporer, les sels minéraux qu'elle contient, en particulier les carbonates. Ces derniers servent de liant entre les grains de sable, formant ainsi le ciment de la croûte.

Notons enfin que le Mistral indispose toute personne étrangère à cette région travaillant sur le terrain pendant la saison froide.

GRAPHIQUE CHRONOLOGIQUE SUR 77 ANNEES

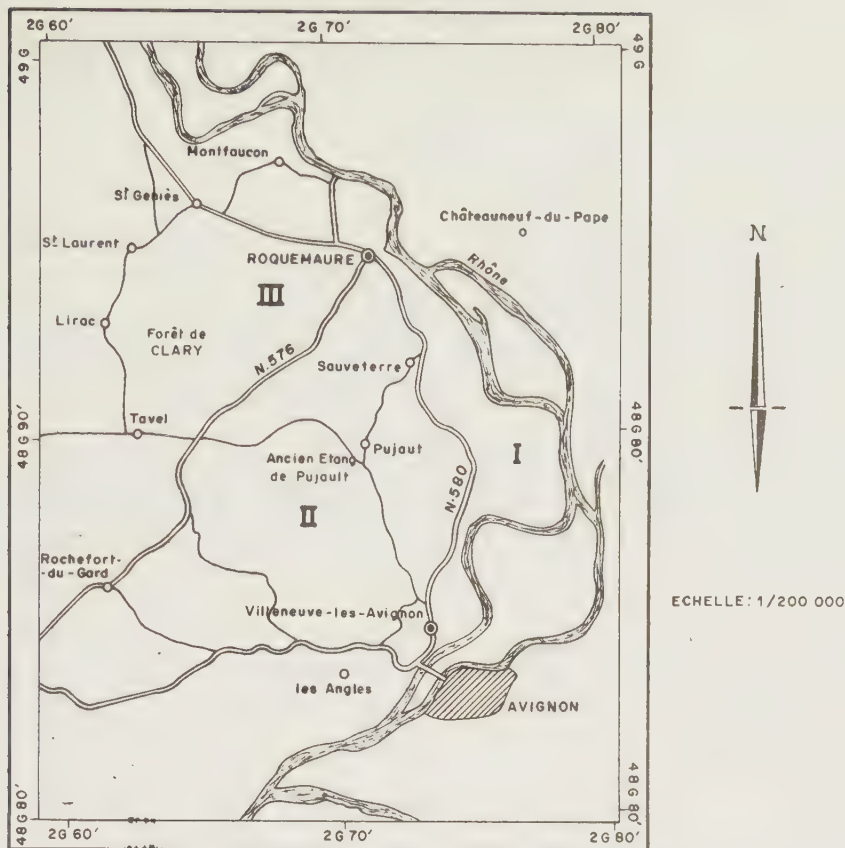


GRAPHIQUE DES VARIATIONS DES MODULES PLUVIOMETRIQUES MENSUELS POSTE DE ROQUEMAURE (1887 - 1963)



Fig. 4

III - HYDRAULIQUE SOUTERRAINE

I - Piézométrie.

Introduction. Dans cette partie de l'étude nous distinguerons trois grandes unités hydrogéologiques.

I - La zone alluviale du Rhône, bordant le fleuve, de Montfaucon à Villeneuve-les-Avignon, limitée à l'EST par le Rhône et à l'Ouest par les massifs calcaires éocènes, ainsi que par quelques terrasses anciennes qui la font communiquer avec l'intérieur de la région.

II - Le plio-quaternaire de la dépression de Pujaut.

III - Le plio-quaternaire de la dépression de Traslepu.

Il nous faut cependant signaler l'importance des plateaux villafranchiens et quaternaires moyen (Aguillon, Forêt-de-Clary, Maillac etc...) qui constituent les zones de recharge des nappes correspondantes à ces trois zones.

L'étude des nappes phréatiques de Traslepu et de Pujaut va être rapidement traitée avant d'aborder la zone des alluvions du Rhône qui est la plus importante. Quant aux nappes captives de Pujaut et de Traslepu, nous avons un très petit nombre de points d'observation ce qui nous empêche de les traiter dans ce chapitre.

Du point de vue étude des niveaux piézométriques c'est surtout la nappe alluviale du Rhône qui sera concernée car, grâce à la compagnie Nationale du Rhône, nous avons à notre disposition un champ de piézomètres s'étendant de Ville neuve à Roquemaure, ainsi que sur les îles de la Barthélassa et d'Oiselet, d'une densité de neuf piézomètres au km² soit 1 piézomètre tous les 500 m.

Nous donnerons pour cette nappe deux cartes piézométriques, traduisant respectivement l'état de la nappe aux basses eaux (fin septembre 1964), hautes eaux (fin mars- début avril 1965).

En ce qui concerne les nappes phréatiques de l'Avignon et de Traslepuv, le problème est plus délicat car nous n'avons pas des puits nivelés. Cependant, grâce aux cartes topographiques à courbes de niveau, nous donnons une vue piézométrique de la région étudiée.

Avant de passer à l'étude des variations piézométriques proprement dites, nous avons pensé qu'il était nécessaire de donner une explication sur l'inventaire des points

Nous avons procédé à un inventaire systématique de tous les points d'eau existant sur toute l'étendue du territoire qui nous a été attribué (puits, sources, forages etc.) La légende de la carte d'inventaire donne les précisions sur la distinction des différentes sortes des points d'eau.

Nous avons estimé qu'il était nécessaire de faire précéder chaque numéro d'inventaire de la lettre qui n'est autre chose que la première lettre de la Commune sur le territoire de laquelle se trouve le point d'eau. Cette façon de procéder évitera au lecteur de perdre le temps à la recherche d'un point d'eau dont on parle dans le texte.

En ce qui concerne les piézomètres, nous avons modifié la notation que leur avait assignée la C.N.R. car leur zone d'implantation se limite dans la plaine alluviale du Rhône entre Roquemaure et Villeneuve-les-Avignon ainsi que les îles de la Barthélassa et d'Oiselet. Leurs caractères de notation sont plus gros que ceux des simples points d'eau se trouvant sur la même plaine alluviale.

Abréviations utilisées : S.G = Saint-Géniès
M = Montfaucon
R = Roquemaure
S = Sauveterre
P = Pujaut
V = Villeneuve
AB = Ile de la Barthélasse (commune
d'Avignon).

Etat piézométrique des unités II et III ainsi que la partie
de la plaine alluviale située au Nord de Roquemaure (voir
carte piézométrique du mois d'Août 1965).

Les puits de ces deux zones n'ayant pas été nivelés, les courbes piézométriques ont été faites à partir des profondeurs de l'eau dans les puits et des altitudes déduites de la carte de l'I.G.N au 1/20.000.

Pour cette raison et à cause d'une plus forte pente, l'équidistance des courbes est ici de 10 m.

II - Pujaut.

L'alimentation de la nappe phréatique, occupant l'emplacement de l'ancien étang se fait de tous côtés. C'est une nappe à filets convergents vers le centre de la dépression. Dans la zone de Montézargues, bordure est du lambeau de la terrasse du Villafranchien, les courbes se resserrent. Vers FOUR, c'est-à-dire à l'EST de Pujaut, nous notons une alimentation de la zone de passage de la "roubine" par le massif néocomien au Sud et le plateau villafranchien d'Aguillon au Nord.

III - Montfaucon.

La nappe phréatique de cette unité hydrogéologique est par endroits à filets convergents et en d'autres à filets divergents. L'écoulement général est W-E. Les eaux de la nappe alimentent la vallée alluviale du Rhône.

On peut relever trois fronts principaux d'alimentation de cette nappe :

- a) Front de la Montagne-de-Saint-Géniès
- b) Front de la Forêt-de-Clary

c) front du plateau de Maillac

Le front du plateau de Maillac montre la plus forte pente hydraulique.

Plaine alluviale (Saint-Géniès-Montfaucon)

La nappe est cylindrique et presque plane. La nappe alluviale du Rhône semble devenir captive dans cette partie. Outre les intervalles constants entre les courbes, la coupe d'un forage pour l'alimentation en eau de Roquemaure (Pl.XIX) montre successivement au-dessus de l'aquifère proprement dite 1,20 m de terre végétale, 2,80 m de limon sableux, 2,80 m d'argile bleue et 2,30 m d'argile bleue et graviers. L'écoulement général est SW-NE. La nappe reçoit une partie des eaux de la Montagne-de-Saint-Géniès.

En ce qui concerne la partie de la nappe alluviale du Rhône située au Sud de Roquemaure, il sera question plus loin lors de l'examen de la carte piézométrique des basses eaux car l'allure de la carte du mois d'Août 1965 dans cette partie de la nappe est presque identique à celle des basses eaux de septembre 1964. Nous signalons cependant que la surface piézométrique de l'île d'Oiselet montre une nette différence entre les basses eaux (septembre 1964) et le mois d'Août 1965. La nappe est cylindrique au mois d'Août 1965 alors que la carte des basses eaux (1964) donne l'image d'une nappe à filets généralement divergents, surtout vers la pointe sud de l'île.

Etude de la partie de la nappe alluviale du Rhône comprise entre Roquemaure et Villeneuve.

A - Carte piézométrique des basses eaux - fin septembre 1964.

Sur cette carte, nous avons représenté la surface piézométrique, des lignes de courant et des axes principaux qui définissent le sens de l'écoulement de la nappe. A cette époque de l'année, le Rhône qui influence cette nappe est au voisinage de sa côte la plus basse (12,54 m N.G.F - pont d'Avignon). L'équidistance des courbes maîtresses est de 1 m, les courbes secondaires en tirets étant à mi-distance entre deux courbes maîtresses successives.

L'examen de la carte nous montre tout d'abord des zones d'alimentation de cette nappe mis à part certaines parties du cours du Rhône. Ce sont du Nord au Sud : la région de la terrasse moyenne au S SO de Roquemaure influencée par le plateau de Maillac, juste au Sud de cette zone, les extrémités aval des nappes de Traslepuys, et de Pujaut au droit du hameau de FOUR ; enfin tout le massif néocomien de Villeneuve-les-Avignon.

Mis à part l'île de la Barthélasse, l'écoulement général, matérialisé par les axes principaux, est NNO-SSE.

Nous distinguerons cinq zones, distinction basée sur la courbure et l'allure générale des hydro-isohypses. On aura donc :

- a) zone septentrionale au Sud de Roquemaure s'étendant de la courbe 22 à la courbe 19,5).
- b) zone centrale, de la courbe 19 à la courbe 15).
- c) zone de Villeneuve en bordure du Massif néocomien entre les courbes (14 et 13).
- d) l'île d'Oiselet (courbes 20 à 18,5).
- e) l'île de la Barthélasse courbes (16 à 13).

a) ZONE SEPTENTRIONALE DE LA NAPPE.

Dans cette zone, les hydro-isohypses ont la concavité tournée vers l'amont. La nappe a des filets divergents. Ce caractère, à notre avis, définit une zone très irriguée en eau souterraine où l'alimentation de la nappe est importante, alimentation dont l'origine est d'une part la haute terrasse composée de gros galets et d'autre part la "roubine" qui draine les eaux de la dé-

L'espacement des courbes croît du Nord au Sud. Alors que les courbes 21; 21,5 et 22 sont serrées et à intervalle régulier, les courbes 20,5 ; 20 ; 19,5 ont un espacement assez grand. La zone intéressant les courbes 22 ; 21,5 et 21 indiquerait donc un débit unitaire important provenant du réservoir naturel du plateau de Maillac. Ce fort débit unitaire serait réduit au fur et à mesure qu'on s'éloignerait vers le Sud par l'augmentation de la longueur du front de la nappe.

Le gradient hydraulique est donné par la formule $i = (H_1 - H_2)/L$ où H_1 et H_2 , sont les niveaux amont et aval dans le sens de l'écoulement ; L, distance séparant les deux courbes. Ce gradient est égal dans la zone nord, avec $H_1 = 22$ m, $H_2 = 21$, $L = 1,1$ cm ou 220 m à l'échelle 1/20.000, à :

$$i = \frac{22 - 21}{220} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ ou } 4,5 \text{ pour } 1\ 000.$$

Entre les courbes 20,5 et 19,5 ce gradient devient égal à

$$i = \frac{20,5 - 19,5}{1180} = 10^{-3} \text{ ou } 1 \text{ pour } 1\ 000$$

La diminution du gradient hydraulique du Nord au Sud est due certainement au faible débit.

La courbe de dépression passant dans cette zone par les piézomètres 114 - 107 - 104 et 91, est représentée sur la coupe (I - I). L'allure parabolique se traduit par la diminution du niveau piézométrique dans le sens de l'écoulement. Nous notons une rupture de pente au niveau 21 m.

b) ZONE CENTRALE. (entre les courbes 19 à 15).

La concavité des courbes est tournée vers l'aval, ceci traduit en gros une zone intensément drainée ou de forte perméabilité, mais nous nous penchons vers le drainage car il y a appel d'eau dans la zone occupée par une sorte d'étang, ce qui provoque le drainage des eaux du Rhône dans cette partie. Les filets sont convergents vers l'étang. L'espacement des courbes est variable. Calcul du gradient moyen :

$$i (19 - 18,5) = \frac{19 - 18,5}{500} = 10^{-3} \text{ ou } 1 \text{ pour } 1\ 000$$

$$i (18,5 - 18) = \frac{18,5 - 18}{260} = 2.10^{-3} \text{ ou } 2 \text{ pour } 1\ 000$$

$$i (17 - 16,5) = \frac{17 - 16,5}{460} = 10^{-3} \text{ ou } 1 \text{ pour } 1\ 000$$

$$i (16,5 - 16) = \frac{16,5 - 16}{400} = 1,2.10^{-3} \text{ ou } 1,2 \text{ pour } 1\ 000$$

$$im = \frac{0,0052}{4} = 10^{-3} \text{ ou } 1,3 \text{ pour } 1\ 000$$

La courbe de dépression (coupe II-II) a l'allure parabolique comme la précédente.

c.) ZONE MERIDIONALE (Villeneuve - Bordure du massif, courbes 14 à 13)

La concavité des courbes est tournée vers l'amont, c'est une zone à filets divergents qui est un élément favorable à l'existence d'une zone d'alimentation. A cette époque, les eaux accumulées dans le massif néocomien et dans la terrasse Fx descendent vers la nappe alluviale. Cette zone donne une forte perméabilité qui, d'après les essais de débits effectués par le Génie Rural de Nîmes en Septembre 1964 et en Janvier 1965 est de l'ordre de 10^{-2} m/s. Le bras mort du Rhône draine cette portion de la nappe.

Le gradient hydraulique entre les courbes 14 et 13 est de l'ordre de 1,5 pour 1 000 ;

L'ordre de grandeur du débit de la nappe dans cette zone, calculé sur un front L = 1750 m perpendiculaire aux filets liquides, matérialisé par la droite AB, et passant par les piézomètres 18 et 4, est donné par la formule $Q = TIL$ avec $T = 1,6.10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ (essai de débit de Villeneuve)

$$Q = (1,6.10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}) \times (1,5.10^{-3}) \times 1750 \text{ m.}$$

$$Q = 0,40 \text{ m}^3/\text{s}$$

d.) ILE D'OISELET - Courbes 20 à 18,5.

L'Ile est drainée par les bras du Rhône qui l'entourent ; la concavité des courbes est tournée vers l'amont, et dans certains endroits, la courbure très prononcée indique un bombement de la surface piézométrique qui traduit une zone fortement irriguée restituant les eaux emmagasinées pendant les hautes eaux au Rhône. Les filets sont divergents à partir de ces zones de bombement. Etant donné le grand espacement des courbes, nous pouvons parler d'une bonne perméabilité dans l'île. Le gradient hydraulique moyen calculé entre les

courbes 19 et 18,5 est de l'ordre de 0,4 pour 1 000, il est donc relativement faible. La courbe de dépression (coupe III-III) est parabolique, la pente décroît dans le sens de l'écoulement.

e) ILE DE LA BARTHELASSE.

Dans cette île la concavité des courbes est tournée vers l'amont. Mais l'île est drainée surtout par le bras mort du Rhône.

Dans le NE de l'île, le bras vif du Rhône alimente la nappe, mais au Sud, la nappe est drainée en partie par ce même bras vif du Rhône. Le gradient hydraulique varie entre les courbes 15 et 14, avec une valeur moyenne de l'ordre de 0,4 pour 1 000 et entre 14,5 et 14, il passe à 1 pour 1 000 environ, cette augmentation du gradient peut être due au colmatage de la rive gauche du bras de Villeneuve ou à la diminution de la puissance de l'aquifère car les coupes de sondage effectuées dans cette île mettent en évidence l'homogénéité de l'aquifère excluant par ce fait l'hypothèse d'une variation de faciès dans l'aquifère.

L'allure de la courbe de dépression passant par les piézomètres 160 - 151 - 143 - 138 (coupe IV-IV), est parabolique.

D'après les essais Lefranc effectués dans l'île de la Barthélasse sous la direction de M. Jeanjean, Ingénieur à la C.N.R., la valeur apparente de la perméabilité est de l'ordre de 10^{-3} m/s (communication orale). Cette valeur de k nous permet d'évaluer le débit de la nappe sur un front L : 3 000 m matérialisé par la droite CD passant par les piézomètres 162 et 125 et perpendiculaires aux filets liquides.

$$Q = KHIL \text{ (H = 15 m voir PL XI)}$$

$$Q = (10^{-3} \text{ m/s}) \times 15 \text{ m} \times 10^{-3} \times (3 \cdot 10^3 \text{ m})$$

$$Q = 45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}.$$

Conclusions sur l'étude de la carte des basses eaux.

1°) En général le Rhône draine les eaux de la nappe à cette époque soit par son bras vif, soit par le bras mort, cependant en certains endroits de la nappe où l'appel d'eau se fait sentir, la nappe draine les eaux du fleuve.

29) Le gradient hydraulique.

Cette grandeur, mis à part les deux îles, reste voisine de 1 pour 1 000 du Nord au Sud de la nappe. Elle atteint cependant en certains endroits la valeur de 4,5 pour 1 000. Dans les deux îles, le gradient hydraulique demeure généralement au-dessous de 1 pour 1 000.

32) L'écoulement est non uniforme (allure sinueuse des axes d'écoulement sur la carte.)

42) Le sens d'écoulement dans l'île de la Barthélasse attire certaines remarques. Alors que dans l'ensemble de la nappe alluviale l'écoulement général est N-S suivant l'orientation de la vallée, il se trouve orienté E-W dans l'île, c'est-à-dire perpendiculaire à la vallée. Nous pensons que ce changement de direction d'écoulement est dû d'une part à l'appel d'eau du bras mort et d'autre part à l'inclinaison de l'aquifère dans l'île (voir Pl. XI/R₁ P₄)

B - Carte des hautes eaux-fin mars 1965.

Après la détermination de l'écoulement par les axes principaux, nous notons l'alimentation de la nappe par le fleuve du Nord au Sud et dans les îles. La direction générale d'écoulement à cette époque est NNE-SSO. Dans les îles, la détermination de cette direction est complexe car la nappe est alimentée de tous côtés. L'écoulement dans l'ensemble est non-uniforme (allure sinueuse des axes d'écoulement). Comme pour la précédente carte, nous garderons la division de la nappe en cinq zones ce qui nous permettra de comparer les deux époques de l'année.

a) ZONE NORD. (entre les courbes 23,5 à 20) séparée de la zone centrale par la droite passant aux piézomètres (72 et 75).

La nappe, en dehors des eaux du Rhône, reçoit, comme dans le cas précédent, les eaux provenant de la dépression de Traslepuys et du plateau de Maillac. Tout à fait au Nord de la zone, les courbes ont une allure régulière, sans concavité (23,5 à 22,5). Mais à partir de 22 jusqu'à 20, elles présentent une concavité tournée vers l'aval ; c'est une zone déprimée qui reconstitue principalement ses réserves par les apports du Rhône.

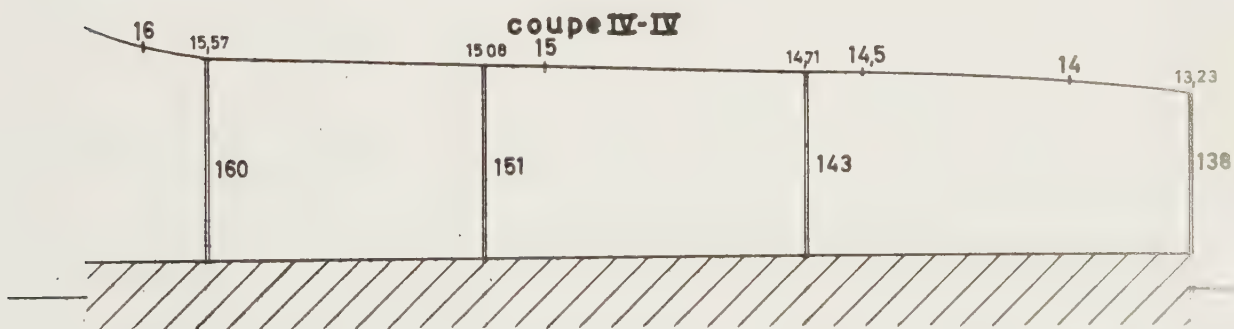
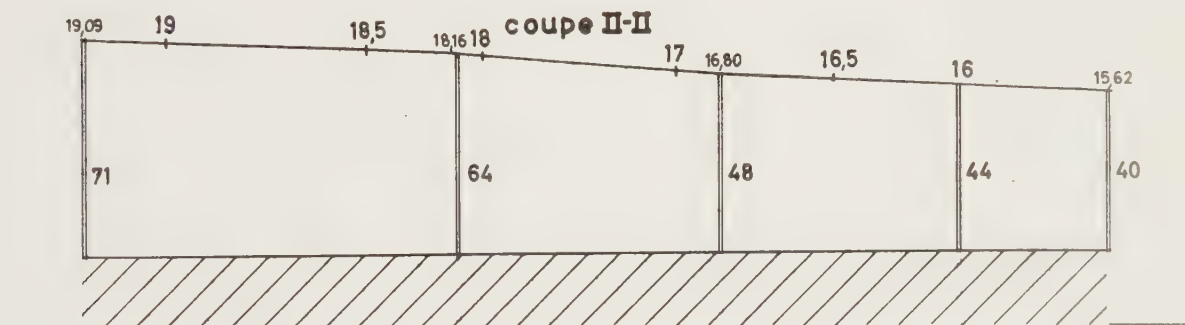
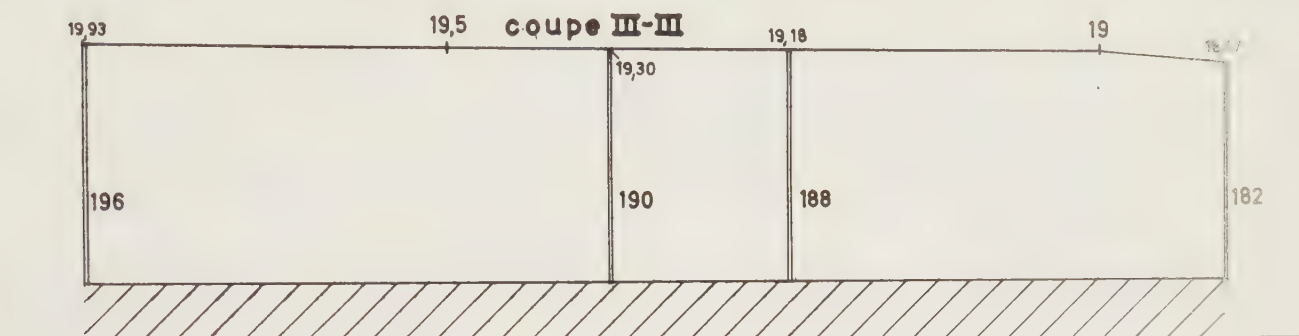
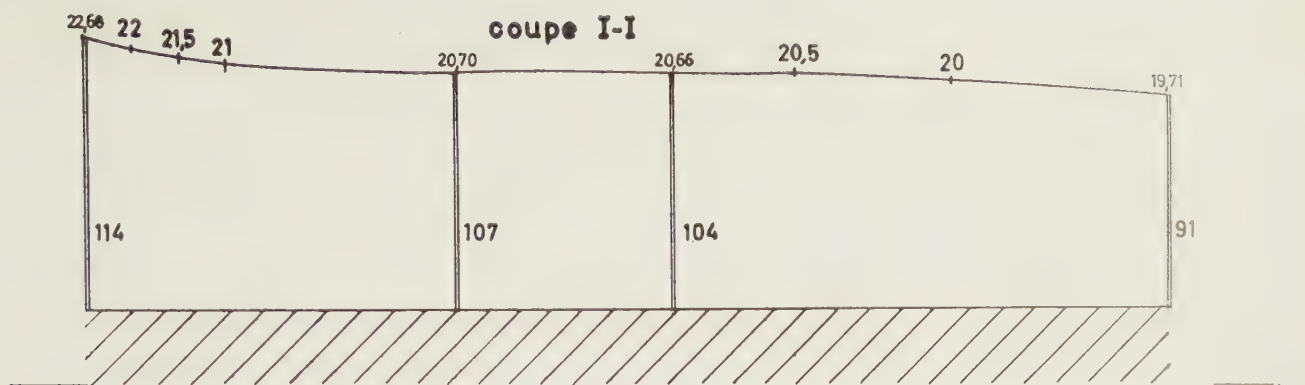
L'espacement des courbes est moyen et variable, plus rapprochées entre 22,5 ; 22 et 21,5 et plus lâches dans la partie sud. Cet espacement variable peut indiquer une variation de vitesse d'écoulement, le débit étant supposé constant et la perméabilité homogène. Nous pouvons supposer que c'est une variation de vitesse et non de perméabilité par le resserrement de la zone d'écoulement où se situent les courbes 22,5 ; 22 ; 21,5 zone comprise entre le Rhône et l'extrémité est du Massif de l'Aspre, d'une largeur de 1200 m alors que dans la région des courbes 21 à 20, la plaine alluviale a une largeur de 2 000 m. Pour vérifier cette hypothèse, nous allons déterminer le gradient hydraulique entre les courbes 23,5 et 22,5 ; entre 22,5 et 21,5 et enfin entre 21,5 et 20.

$$i (23,5 - 22,5) = 10^{-3}$$

$$i (22,5 - 21,5) = 2,3.10^{-3}$$

$$i (21,5 - 20) = 10^{-3}$$

schéma (1)



160 Piézomètre et son numéro d'inventaire — Echelle de longueur : 1/20 000^e

BASSES EAUX

Le gradient hydraulique dans la zone de resserrement des courbes est de l'ordre de 2,3 pour 1 000 alors qu'il demeure à 1 pour 1 000 de part et d'autre de cette zone.

La coupe (I' - I') présente un bombement entre les piézomètres limites. Ceci est dû à l'alimentation par le Rhône dans sa partie située au-dessus de l'île de l'Oiselet avant d'être divisé en deux bras et non à l'infiltration de surface. L'écoulement est ici perpendiculaire à la coupe.

b) ZONE CENTRALE. (de la ligne passant par les piézomètres 72-75 au Nord et le début du bras mort du Rhône passant par Villeneuve).

Les lignes de courant se dirigent vers le petit étang qui dessine un S au Sud de ce secteur. L'alimentation de l'emplacement occupé par cet étang intéresse aussi bien le Rhône que le Nord du Massif de Villeneuve. L'espacement des courbes est variable dans l'ensemble, très serrées au droit du confluent des deux bras du Rhône définissant l'île de l'Oiselet, ces courbes deviennent plus espacées au fur et à mesure qu'on s'approche de la zone irriguée. La concavité est tournée vers l'aval. La zone des courbes très serrées au voisinage du Rhône indique que le débit cédé par le fleuve est très fort à cet endroit.

Le gradient hydraulique entre 20,5 et 17, en bordure du Rhône est de l'ordre de 5,8 pour 1 000, ce gradient passe, suivant l'axe d'écoulement partant du Rhône, entre les courbes 17 et 16, à 1 pour 1 000 environ.

Une coupe suivant le sens de l'écoulement passant par les piézomètres 71, 64, 48, 44, 40 (II' - II') montre une diminution de la pente de la surface piézométrique suivant l'écoulement.

c) ZONE MERIDIONALE. (VILLENEUVE), en bordure du Massif.

Les courbes piézométriques ont la concavité tournée vers l'amont. Le bras du Rhône de Villeneuve, dit bras mort, alimente la nappe. Cette dernière présente ici le caractère de divergence des filets d'eau. L'espacement des courbes est variable.

Le gradient hydraulique moyen entre les courbes 17,5 et 15 est de l'ordre de 2 pour 1 000. Le débit sur un front de 1750 m, le même que lors des basses eaux, matérialisé par A, perpendiculaire à l'écoulement, est donné par la formule :

$$= TIL$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-3} \times 1750 \text{ m}$$

La nappe alluviale dans l'île à cette époque montre la particularité d'une nappe radiale convergente ; les lignes de courant convergent vers la zone centrale de la nappe. Les courbes décrivent des figures fermées qui se rapprochent des ellipses. L'espacement de ces courbes est plus ou moins constant, surtout au voisinage de la dépression. Le gradient hydraulique moyen, est de l'ordre de 2 pour 1 000.

On y retrouve le caractère radial convergent des filets liquides. Les courbes se ferment à proximité du bras du Rhône de Villeneuve, la dépression piézométrique serait due à l'augmentation de la puissance de l'aquifère. L'espacement est variable, les courbes plus serrées au voisinage de la rive du Rhône (courbes 19 à 16,5) deviennent moins serrées au fur et à mesure qu'on s'approche de la dépression.

Le gradient hydraulique passe de 4 pour 1 000 au voisinage du Rhône à 1,2 pour 1 000 dans la zone de la dépression.

Calcul du débit sur le front $CD = L = 3\ 000 \text{ m}$.

$$Q = KHLi \quad (i = 1,5 \cdot 10^{-3})$$

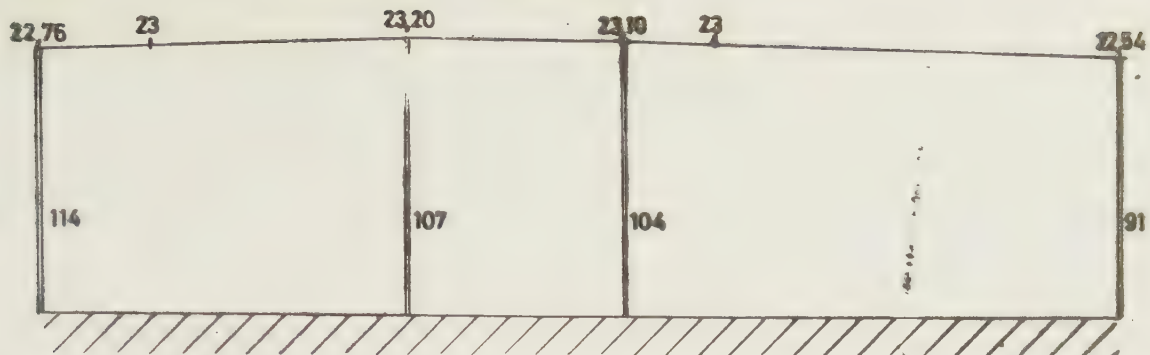
$$Q = (10^{-3} \text{ m/s}) \times (1,5 \cdot 10^{-3}) \times 3 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$= 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

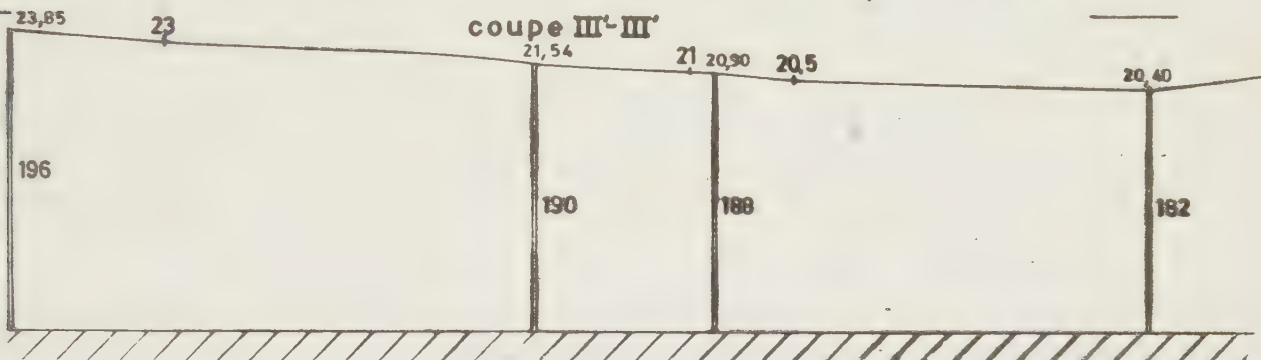
Conclusions sur l'étude de la carte des hautes eaux.

- 1°) La nappe alluviale est alimentée par le Rhône
- 2°) Apparition de l'écoulement radial dans trois zones (zone centrale et les deux îles).

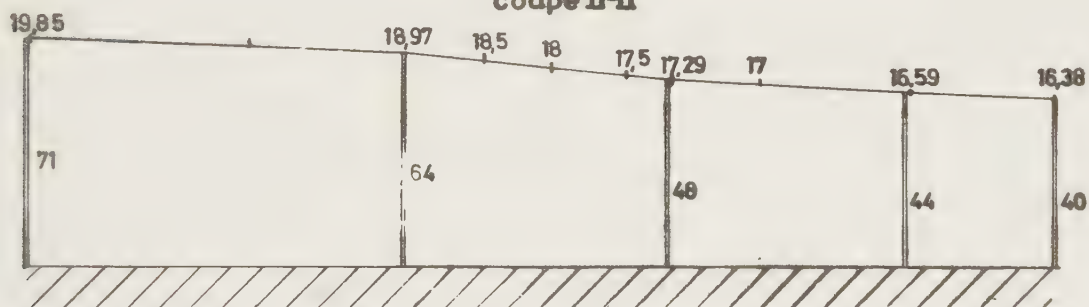
coupe I'-I'



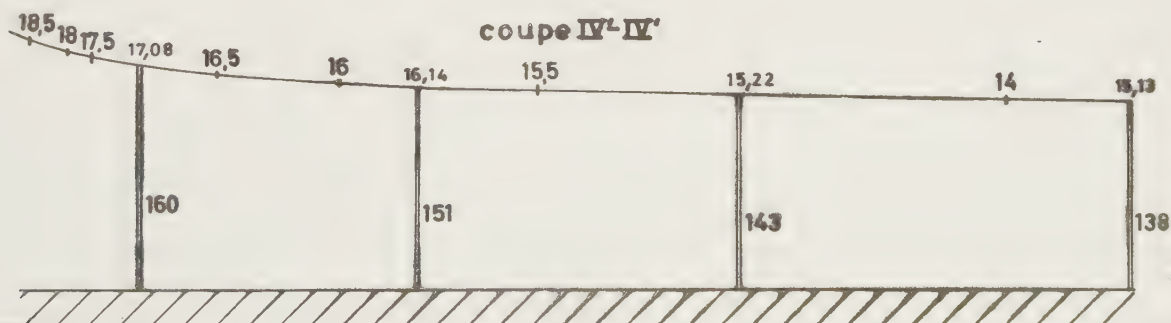
coupe III'-III'



coupe II'-II'



coupe IV'-IV'



160 Piezomètre et son numéro d'inventaire — Echelle des hauteurs : 1/500^e

3^o) Le gradient hydraulique est variable dans toute l'étendue de la nappe.

6-Comparaison des deux états extrêmes de la nappe.

1^o) Le gradient hydraulique qui avait une valeur moyenne de 1 pour 1 000 pendant les basses eaux devient supérieur à cette valeur.

2^o) Nous pensons que la perméabilité restant identique pendant les deux états extrêmes, le débit unitaire de la nappe soit augmenté proportionnellement au gradient i .

3^o) Comparaison des débits calculés sur les fronts AB et CD pendant les deux périodes:

Puisque nous estimons que la valeur $KHL = TL$ ne varie pas pendant les deux périodes considérées, les débits passant par les fronts AB et CD seront fonction du gradient hydraulique.

a) Pour la zone sud, nous avons trouvé un débit de $0,40 \text{ m}^3/\text{s}$ avec $i = 1,5$ pour 1 000 pendant la période des basses eaux. Ce débit devient égal à $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ avec $i = 2$ pour 1 000 à l'époque des hautes eaux.

b) Pour l'île de la Barthélasse, on tire le débit des basses eaux $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ (avec $i = 1$ pour 1 000), débit des hautes $0,67 \text{ m}^3/\text{s}$ (avec $i = 1,5$ pour 1 000).

4^o) Les coupes faites pendant les deux périodes, montrent une variation appréciable du niveau piézométrique. La nappe se charge donc pendant la période fin mars-début avril.

5^o) Dans la zone méridionale (Villeneuve), l'écoulement est inversé pendant les deux périodes. Lors des basses eaux, cette partie de la nappe était alimentée par les eaux provenant du massif néocomien de Villeneuve, de la haute terrasse F_x et des alluvions anciennes F_yZ , mais pendant les hautes eaux l'ordre est inversé, l'eau qui alimente la nappe provient du bras mort.

Nous supposons que l'eau continue à couler de l'ensemble massif, haute terrasse et alluvions anciennes vers cette zone sud, mais que les apports du Rhône étant supérieurs, masquent en conséquence l'influence que peut avoir l'ensemble cité ci-dessus sur la nappe.

Nous avons comparé ci-dessus les débits calculés au front

AB pendant les hautes et les basses eaux. Nous avons déduit une différence de l'ordre de $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$. L'eau ne pouvant monter les pentes (voir l'axe d'écoulement orienté vers le massif néocomien et la haute terrasse) il se pose la question de savoir où va cette eau exédentaire. Il se pourrait qu'il y ait une zone de passage privilégié aux environs du Fort-St-André (affleurement néocomien) où l'eau disparaîtrait pour être restituée plus bas au Rhône. La deuxième hypothèse serait celle de l'existence d'un karst développé sous l'affleurement néocomien signalé et qui absorberait le trop plein.

6°) La carte des hautes eaux a mis en évidence, les zones de dépression caractérisées par l'écoulement radial convergent en particulier dans l'île de la Barthélasse et la zone centrale de la plaine alluviale comprise entre la droite joignant les piézomètres 72 et 75 au Nord et le début du bras du Rhône de Villedeneuve au Sud. L'existence de ces zones coïncide avec une variation non de perméabilité, mais de la puissance de l'aquifère. Nous avançons cette hypothèse après examen des coupes approchées des terrains réalisées à l'aide des sondages et forages faits dans ces zones. Il s'agit des coupes R_1P_4 (Barthélasse), R_1P_2 (zone centrale).

Pour la Barthélasse, en partant du bras vif du Rhône, l'aquifère est inclinée et possède une puissance de 15 m environ. Cette puissance augmente au fur et à mesure qu'on approche du bras mort et atteint 18 m à certains endroits. Mais, au voisinage du bras mort, le substratum se relève, il y a retrécissement au droit du lit du bras mort où l'aquifère n'atteint plus que 8 m. Cette allure de l'aquifère explique l'écoulement pendant les basses eaux et les hautes eaux.

a) Basses eaux : il y a diminution du niveau du Rhône, par suite de l'existence d'une digue à l'entrée du bras mort, il se produit une dénivellation considérable des niveaux de l'eau entre les deux bras. La pente du substratum jouant, les eaux du bras vif coulent toujours vers la dépression. Les eaux emmagasinées dans la dépression s'ajoutant au débit fourni par le Rhône vif vont alimenter le bras mort.

b) Hautes eaux : le bras mort est plein d'eau, ainsi que le

bras vif, la dépression reconstitue ses réserves par les apports des deux bras du fleuve ce qui engendre un écoulement convergent.

Pour la zone centrale : la coupe approchée montre une dépression ; la variation de puissance de l'aquifère est dans le rapport de 1/3, ce qui crée un appel d'eau. En surface, cet emplacement est occupé par un étang. La pente du substratum sous le Rhône est élevée, justifiant le resserrement des courbes piézométriques aussi bien aux hautes qu'aux basses eaux.

a) basses eaux : le réservoir draine le Rhône, mais cède cependant une partie de son eau au bras mort de Villeneuve. Les courbes, côté Rhône, ont la concavité tournée vers l'aval, image d'une zone déprimée.

b) hautes eaux : la dépression se remplit de tous côtés par le Rhône, le bras mort et par le karst que constitue le Massif néocomien de Villeneuve. L'écoulement dans cette zone présente une allure quasi radiale convergente.

D - CONCLUSIONS PRATIQUES.

Grâce à quelques essais de débits nous ayant fourni la valeur de la transmissivité en plusieurs endroits, nous pouvons nous permettre de tirer quelques conclusions pratiques après l'étude des variations piézométriques. Nous pensons que les réserves pouvant être exploitées pendant toute l'année hydrologique sont emmagasinées dans les trois zones de dépression que nous venons de définir ci-dessus, en particulier dans la zone centrale dont le réservoir présente des dimensions appréciables (voir coupe approchée PL.) Cette dépression présente la caractéristique d'être alimentée pendant les basses eaux par les apports du Rhône vif.

Deux autres secteurs de la nappe, mis en évidence par la carte des basses eaux, l'une au Nord (Sud de Roquemaure) et l'autre dans la zone sud, (Villeneuve), présentent à notre avis un intérêt pour l'exploitation d'eau souterraine car, ces zones, à concavité tournée vers l'amont, indiquent qu'elles renferment des réserves d'eau non négligeables qui alimentent la nappe pendant la période des basses eaux. Un essai de débit fait dans la zone sud a donné les résultats satisfaisants (voir essais de débit I). Il serait sans doute plus intéressant de faire une étude semblable dans la zone de Roquemaure. En effet, le problème de l'alimentation des populations en eau est posé avec acuité à cause de la présence de fer dans l'eau de la nappe des alluvions modernes du Rhône utilisée par cette ville. La zone dont nous suggérons l'étude est située à la limite du Pliocène sableux et des alluvions anciennes et ne présente pas cet inconvénient.

E - Courbe de tarissement du Rhône et vidange de sa nappe alluviale dans la zone étudiée.

Après l'étude des cartes piézométriques de la nappe alluviale, en particulier la carte montrant le drainage de la nappe par le Rhône (septembre) nous allons essayer de donner une idée sur la vidange de cette nappe pendant la période de tarissement du Rhône.

Nous utilisons la méthode d'analyse des courbes de tarissement d'une rivière exposée dans le "Traité des EAUX SOUTERRAINES" de G. Castany, Dunod 1963.

Grâce à la CNR, nous avons pu avoir les variations des niveaux du Rhône pour les années 1963 et 1964 à deux endroits correspondant aux limites nord et sud de la région étudiée (pont de Roquemaure sur la nationale Roquemaure-Orange, Nord et pont d'Avignon, Sud), les enregistrements limnigraphiques de l'Ouvèze à Bédarrides (rive gauche) et les courbes hauteurs-débits correspondantes.

Les résultats de cette étude doivent être considérés comme une estimation provisoire car nous nous sommes butés à des difficultés majeures; par exemple la vidange de la nappe alluviale intéresse aussi bien la rive gauche du Rhône que la rive droite, le manque d'enregistrement limnigraphique sur le bras du Rhône de Villeneuve etc...

Calcul du coefficient de tarissement.

Nous utilisons la formule de Maillet :

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Q_t = débit au temps t en m^3/s

Q_0 = débit à l'origine avec $t = 0$ en m^3/s

$e = 2,718$

α = coefficient de tarissement

t = temps exprimé en jours.

Sur un graphique semi-logarithmique, nous représentons les débits en ordonnées en divisions logarithmiques et le temps en abscisses en divisions arithmétiques. Q_0 et Q_t sont déterminés graphiquement. fig. 5

Débits journaliers déduits des variations du Niveau du Rhône au pont de Roquemaure.
(3 juin au 1er septembre) en m³/s

Date	Débit	Date	Débit	Date	Débit	Date	Débit
3-6-1964	1230	1-7-1964	800	29-7-64	610	26-7-1964	540
4	1060	2	775	30	565	27	490
5	1030	3	770	31	565	28	500
6	1100	4	750	1-8-1964	565	29	520
7	1200	5	envasement de l'échelle ↑	2	675	30	565
8	950	6		3	565	31	530
9	1050	7		4	540	1-9-1964	470
10	1040	8		5	530		
11	1010	9		6	565		
12	970	10	680	7	550		
13	980	11	650	8	565		
14	950	12	790	9	650		
15	800	13	700	10	520		
16	1020	14	610	11	440		
17	960	15	580	12	565		
18	965	16	520	13	475		
19	915	17	660	14	475		
20	1010	18	665	15	610		
21	1050	19	700	16	565		
22	1010	20	565	17	460		
23	950	21	700	18	475		
24	1000	22	675	19	490		
25	875	23	710	20	500		
26	875	24	550	21	650		
27	875	25	630	22	775		
28	850	26	740	23	640		
29	840	27	565	24	540		
30	820	28	565	25	540		

Nous n'utilisons que les données de 1964 qui semblent varier d'une façon homogène. L'origine des temps est choisie le 3 juin aussi bien pour Roquemaure que pour Avignon et la fin du tarissement est prise au 1^{er} septembre.

Cette période correspond à la période sèche de la région étudiée et le niveau du Rhône décroît progressivement du 3 juin au 1^{er} septembre soit pendant 91 jours si nous faisons abstraction des quelques ressauts de débit constatés sur le graphique des variations de niveau du Rhône.

a) Le Rhône au pont de Roquemaure.

$$\begin{aligned} Q_o &= 1040 \text{ m}^3/\text{s}. \\ Q_t &= 460 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

d'après la formule de Maillet on peut écrire :

$$\begin{aligned} 460 &= 1040 e^{-\alpha_R t} \\ 460 &= 1040 e^{-91\alpha_R} \\ \log 460 &= \log 1040 - 91\alpha_R \log 2,718 \\ 2,718 &= 3 - (0,4343 \alpha_R) \times 91 \\ \text{Soit } 2,65801 &= 3 - 40,52 \alpha_R, \text{ ce qui donne} \end{aligned}$$

$\alpha_R = 0,0084.$

(α_R coefficient de tarissement au pont de Roquemaure)
Le volume d'eau correspondant à ce coefficient de tarissement pour un jour ou 86 400 secondes est donné par la relation

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q_o \times 86400}{\alpha} \\ \text{donc } V_R &= \frac{1040 \times 86400}{8,4 \cdot 10^{-3}} = 10686,81 \cdot 10^6 \text{ de m}^3/\text{jour} \end{aligned}$$

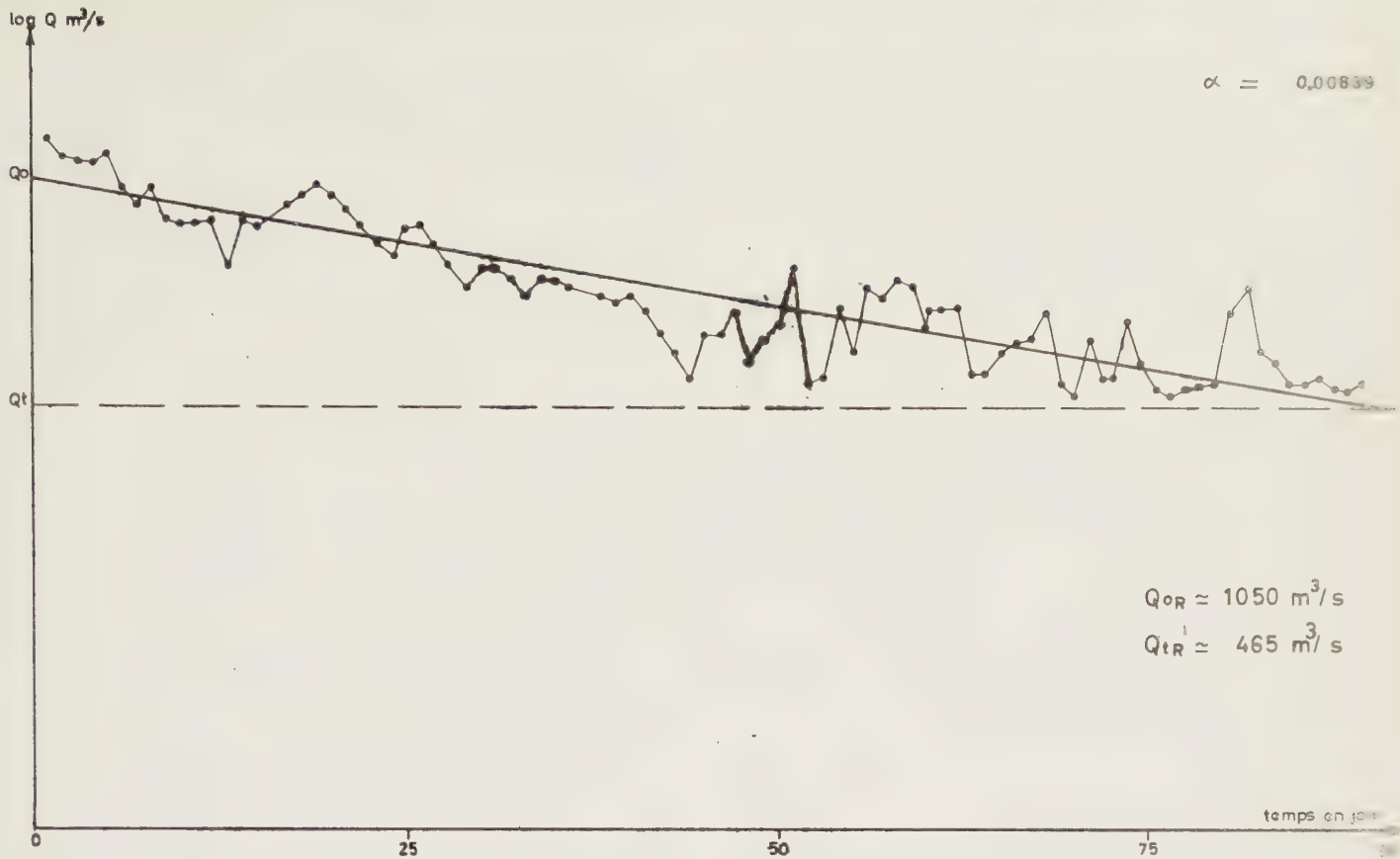
avec V_R = volume d'eau correspondant à α_R à Roquemaure.

V_R caractérise le Rhône à son entrée dans la région étudiée.

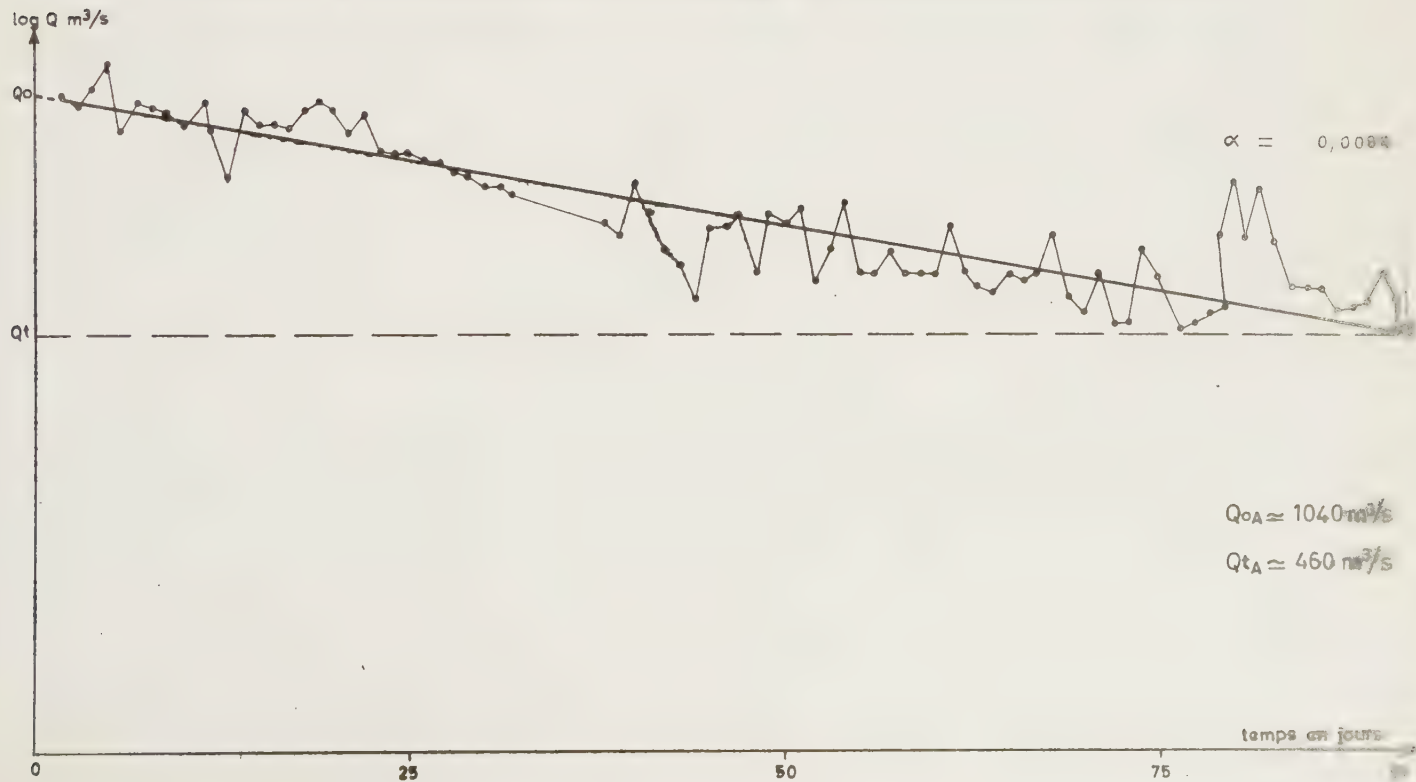
b) Le Rhône au pont d'Avignon où à la sortie de la région étudiée.

$$\begin{aligned} Q_o &= 1050 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_t &= 465 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

DROITE DE TARISSEMENT AU PONT D'AVIGNON SUR LE RHONE



DROITE DE TARISSEMENT DU RHONE AU PONT DE ROQUEMAURE



$$\log 465 = \log 1050 - (0,4343 \alpha_R) \times 91$$

$$2,6812 = 3,0212 - 40,52 \alpha_R$$

$$\alpha_R = 0,00839 \approx 0,0084 \quad (1)$$

Le volume correspondant à α_R pendant un jour

$$V_A = \frac{1050 \times 86400}{0,0084} = 10800 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jour}$$

A coefficient de tarissement constant, le calcul des volumes d'eau journaliers à la sortie du cours du Rhône et à son entrée dans la région étudiée, montre une légère augmentation ΔV

$$\Delta V = V_A - V_R = 114 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

Mais l'application graphique de la formule de Maillet laisse une grande imprécision dans le choix de Q_0 , donc dans les calculs des bilans que l'on peut faire entre les stations de jaugeage.

C'est pourquoi nous avons étudié directement le bilan et réalisé sur la figure (5 bis) une représentation graphique de celui-ci.

$Q_b = Q_A - Q_R$ (avec Q_b = bilan, Q_A débit mesuré au pont d'Avignon et Q_R débit relevé au pont de Roquemaure).

Soit U_A et U_R les débits journaliers relevés respectivement aux deux stations précédentes, nous portons en ordonnées à partir de l'origine 0 les écarts $U_A - U_R$ (positifs ou négatifs) et sur l'axe des abscisses le temps exprimé en jours.

Après planimétrage des surfaces obtenues de part et d'autre de l'axe des abscisses, nous avons trouvé pour la période de tarissement considérée :

$$Q_A = 104.966.400 \text{ m}^3$$

$$Q_R = 114.284.000 \text{ m}^3$$

$$Q_b = - 9.317.600 \text{ m}^3$$

(1) Le coefficient de tarissement conserve la même valeur dans les deux sections de mesures de variation de niveau.

Ce bilan négatif correspond à une perte entre Roquemaure et Avignon de l'ordre de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Mais considérant l'importance de la masse d'eau véhiculée par le fleuve et la précision des mesures des débits aux deux stations (échelles limnigraphiques) nous pouvons négliger cette différence insignifiante et considérer le bilan comme équilibré.

Le graphique de la fig (5 bis) attire certaines remarques. On note généralement une alternance successive des maxima dans un sens et dans l'autre. Ce phénomène fait penser à une erreur qui affecterait l'une des stations. En effet, une même cause affectant les deux stations (la courbe de tarage en Avignon étant déduite de celle de Roquemaure), ne pourrait altérer la différence $Q_A - Q_R$. La répartition des écarts, d'après le graphique, est quasi-symétrique, ceci exclut la cause d'erreur ayant pour origine la navigation, car la répartition des passages des bateaux ne semble pas être une loi normale.

Pendant cette période de tarissement du Rhône nous avons essayé d'estimer le volume d'eau cédé par la nappe alluviale, soit par perte dans le Rhône, soit par évapotranspiration, soit enfin par exploitation.

Pour cela, nous déterminons la variation Δh du niveau piézométrique entre le début du tarissement (fin mai) et les basses eaux (septembre);

$$\Delta h = 1,5 \text{ m.}$$

Généralement dans une plaine alluviale la répartition granulométrique peut être considérée comme homogène de part et d'autre du fleuve. Nous planimétrons donc toute la portion de la plaine alluviale comprise entre le pont de Roquemaure et le pont d'Avignon bien que notre territoire soit limité à la rive droite du Rhône seulement. Le planimétrage donne une superficie de 65 km^2 soit 34 pour la rive droite et 31 pour la rive gauche. Le volume d'eau cédé par la nappe, correspondant à Δh , est donné par la relation

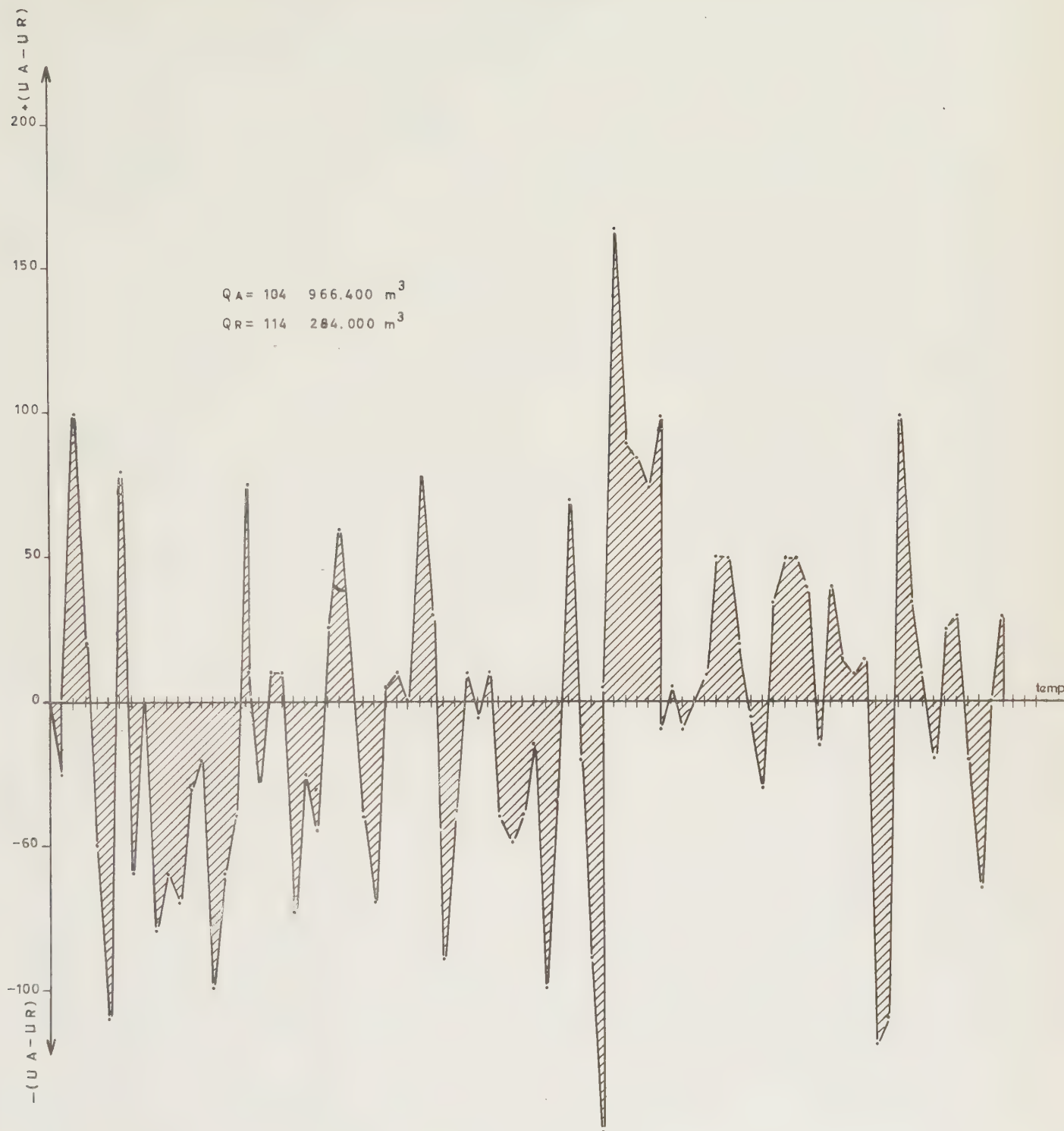
$$V_c = s \times \Delta h \times S \%$$

s = superficie en m^2

Δh = variation du niveau piézométrique en m

$S\%$ = coefficient d'emmagasinement de l'aquifère en %.

GRAPHIQUE DES VARIATIONS DU DEBIT JOURNALIER
ENTRE AVIGNON ET ROQUEMAURE (période de tarissement)



Les sondages nous ont montré que l'aquifère était plus ou moins homogène dans l'ensemble de la rive droite. En supposant que ceci puisse être étendu à la rive gauche, nous prenons $S = 10 \%$ (valeur de T de l'ordre de $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$, donnée par essais de débits) pour les alluvions du Rhône.

$$\begin{aligned}V_c &= 65.10^{-6} \text{ m}^2 \times 1,5 \text{ m} \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s} \\V_c &= 9,75.10^6 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Pour la période de tarissement du Rhône considérée (91 jours environ) l'ordre de grandeur des pertes de la nappe est évalué à

$$q = \frac{9,75.10^6}{91 \times 86,4.10^3} = 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

pertes correspondant à un $S = 10 \%$ qui peut être considéré comme valeur maximum.

CONCLUSION.

1^o) Le coefficient de tarissement du Rhône est identique pour les deux stations de mesure $\alpha_R \quad \alpha_A = 8,4.10^{-3}$ ce qui montre que le régime du fleuve ne change pas dans son cours traversant la région étudiée. Les influences auxquelles il est soumis sont faibles par rapport au volume d'eau qu'il charrie.

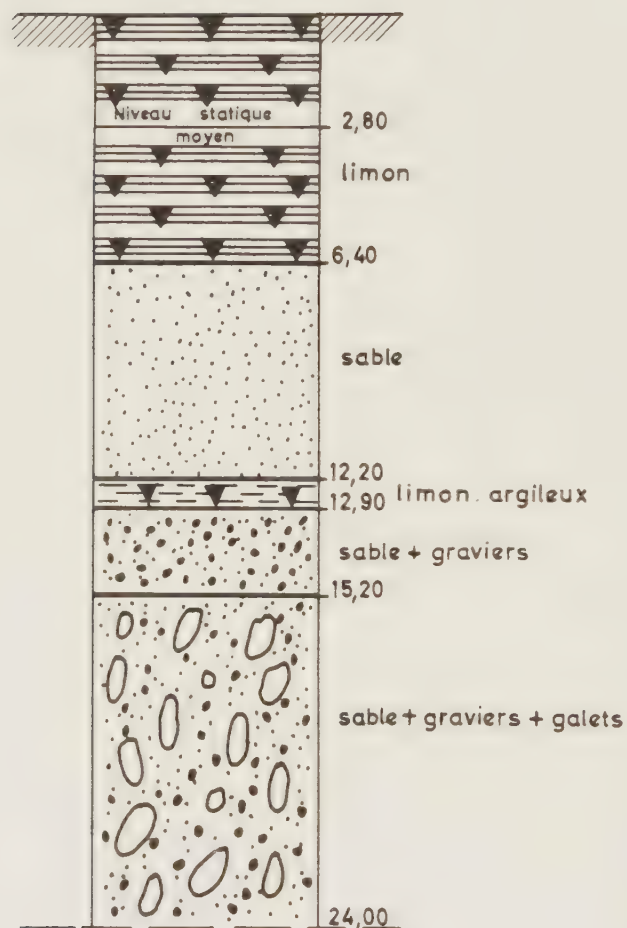
2^o) C'est ce que confirme le calcul de vidange de nappe ($1,1 \text{ m}^3/\text{s}$); de toute façon en prenant pour les débits mesurés sur le Rhône une erreur de l'ordre de 5 % on voit qu'il est impossible d'apprécier les répercussions du déversement des eaux de la nappe sur le régime du Rhône.

3^o) Théoriquement on pourrait faire les mêmes remarques en ce qui concerne les apports de l'Ouvèze petit affluent sur la rive gauche au Nord d'Avignon puisque pour la période considérée ils sont de l'ordre de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, l'examen des graphiques des débits journaliers et du bilan journalier montre que ces apports sont sans influence directe et apparente à la station limnigraphique du pont d'Avignon.

4°) En conséquence, il est possible de présumer qu'il y a perte d'une partie du débit correspondant entre l'amont et l'aval. Ces pertes peuvent se produire par évapotranspiration, par alimentation des nappes alluviales dans lesquelles sont effectués des nombreux prélèvements par pompage.

Remarque : Il est un phénomène que nous n'avons pas réussi à élucider, c'est celui des variations journalières des écarts. La répartition de ces variations laisse suggérer qu'il s'agit d'une cause unique.

COUPE DU Puits D'ESSAI DE POMPAGE DE VILLENEUVE-LES-AVIGNON



2°- ESSAIS DE DEBITS

I - Essais de Villeneuve-les-Avignon.

Emplacement : le puits d'essais est situé à proximité du Fort-St-André à Villeneuve, précisément entre l'affleurement du Néocomien sur lequel est bâti le Fort et le bras du Rhône de Villeneuve, dans les alluvions récentes fluviatiles. Les coordonnées de cet emplacement sur la feuille n°6 Avignon au 1/20 000 sont

$$x = 798,06 \text{ et } y = 188,18.$$

Le puits a été creusé avec un diamètre de 3 m. C'est un puits incomplet, c'est-à-dire qu'il n'atteint pas le substratum. La coupe de ce puits (Pl. XVIII) montre de la surface vers le fond : une épaisseur de 6,40 m de limon sableux gorgé d'eau, puis, une épaisseur de 5,80 m de sable, une intercalation de 0,70 m de limon argileux, ensuite, on trouve du sable et des graviers sur une épaisseur de 2,30 m enfin, sur une épaisseur de 8,80 m, on rencontre du sable, des graviers et des galets du Rhône.

La profondeur totale du puits est de 24 m. Le schéma de l'installation de la station d'essais consiste à un puits central, et deux piézomètres situés sur deux axes perpendiculaires. Un des piézomètres est à 15 m à l'Ouest du puits, tandis que le second est à 47 m au Nord du puits.

Détermination du rayon efficace du puits d'essais.

Avant de passer au dépouillement des essais de pompage sur le puits de Villeneuve et le calcul des caractéristiques hydrogéologiques qui s'en suit, nous allons déterminer tout d'abord la valeur du rayon efficace du puits par la méthode graphique.

Cette méthode est due à Cl. Viguié, du Laboratoire d'Hydrogéologie de Bordeaux, publiée dans l'A.I.H.S. IX^e année n° 4.1964. Elle consiste à représenter sur papier bilogarithmique, le logarithme du rabattement unitaire $\log s/q$ en ordonnées et en abscisses le logarithme de l'inverse du temps correspondant à chaque rabattement $\log 1/t$. On détermine le point A de coordonnées $\log 1/t_0$ et $\log s_0/q$, point où la pente de la courbe augmente brusquement. On suppose qu'au temps t_0 , l'ouvrage qui est assimilé à un réservoir est vide ce

qui permet de déterminer " r_e ", le débit q étant constant. On aura donc

$$\pi r_e^2 s_0 = q \cdot t_0$$

en posant

$$\frac{s_0}{q} = a$$

On trouve

$$r_e = \sqrt{\frac{t_0}{a \pi}}$$

Sur la figure (6) nous avons effectué une représentation graphique grâce aux données du deuxième essai de pompage qui avait été enregistré assez correctement, les durées des essais étant voisines, 68 heures pour le premier, 65 heures pour le second. Le graphique donne les valeurs suivantes (fig. 6) :

$$\log 1/t_0 = 1,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\log s_0/q = 14$$

avec t_0 en secondes q en m^3/s et s_0 en mètres.

t_0 : 700 secondes ; $s_0 = 0,658$ m ; $q = 0,047$ m^3/s

$$r_e = \sqrt{\frac{700}{14 \times \pi}} = 3m,90$$

Le rayon qui au départ était égal à 1m,50, est devenu 2,6 fois plus grand.

1er ESSAI.

Sur cet essai fait par l'Ingénieur Conseil Pouher de Nîmes, nous ne possédons que quelques renseignements. Le pompage a commencé le 16 septembre 1964 par un essai de développement du puits qui n'a duré qu'une demi-heure au débit de 80 m^3/h . Avant le pompage continu, on a relevé respectivement dans les piézomètres N et W, les niveaux -3,38 m et -3,45. A la fin de l'essai, ces piézomètres accusent les niveaux -4,08 m et -4,10 m.

On a commencé avec un débit de 375 m^3/h soit 104 l/s pendant une durée de 24 heures. Au bout de ce temps on a relevé les rabattements suivants :

puits d'essai : 1,35 m

piézomètre nord : 0,10 m

piézomètre ouest : 0,22 m.

$\log \frac{S}{q}$

10^2

$\frac{S_0}{q} = 14$

10

10^{-5}

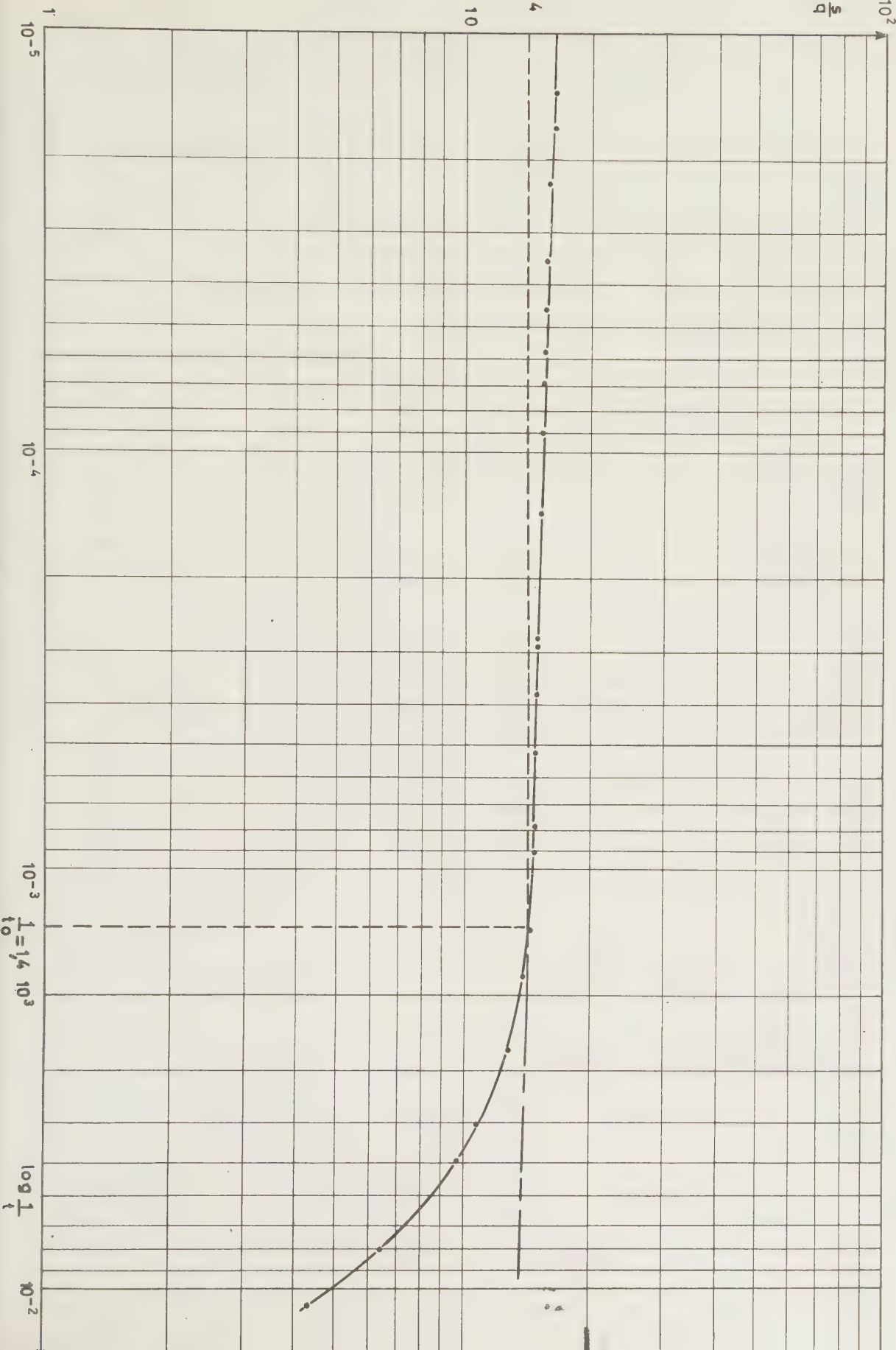
10^{-4}

10^{-3}

$t_0 = 14 \cdot 10^3$

$\log \frac{1}{t}$

10^{-2}



Les données sont trop imprécises pour nous permettre de déterminer les caractéristiques hydrologiques de la nappe.

2^e ESSAI.

Il a été effectué les 27. 28 et 29 janvier 1965, sous la direction de M. David, hydrogéologue du Génie Rural de Nîmes.

Les conduites de refoulement étaient dirigées vers le canal situé à 50 m au Sud du puits. Le jaugeage était fait dans un fût de 215 l.

Avant le pompage continu qui a débuté à 17 h le 26 pour terminer à 9h 59 le 29 - 1 - 65, il y eut un pompage de développement à débit variable (18 l/s. ; 29 l/s ; 47 l/s) qui a duré 5h 10.

Nous donnons ci-contre les résultats des mesures des rabattements pendant la durée du pompage continu, (voir page suivante) . Ces résultats proviennent du dépouillement des enregistrements limigraphiques des deux limigraphes "OTT" l'un au 1/10 avec un mouvement de 24h et l'autre au 1/5 avec un mouvement de 3h 12 .t . exprime la durée en secondes du pompage et . s . le rabattement en mètres .

Les rabattements dans les piézomètres n'ont pas été enregistrés . On a cependant élevé quelques - uns . Dans ces conditions ces rabattements ne présentent pas d'intérêt pour la détermination des caractéristiques hydrogéologiques.

Sur le tableau donnant les résultats de la remontée dans le puits, t' exprime la durée en secondes, temps compté à partir de l'arrêt du pompage continu ; s' représente le rabattement résiduel en mètres.

Calcul de T.

Les résultats obtenus par des enregistrements dans le puits nous permettent de déterminer la transmissivité T du terrain aquifère. La valeur de T trouvée en utilisant les données obtenues par des mesures au puits d'essai nenus donne q'un ordre de grandeur de cette caractéristique car sa meilleure

to	s	t	s	t	s	t	s
80	0,20	3.600	0,70	57.600	0,768	158.400	0,785
120	0,30	7.200	0,71	61.200	0,768	162.360	0,79
200	0,45	10.800	0,72	64.800	0,768	165.600	0,79
240	0,50	14.400	0,725	68.400	0,769	169.200	0,79
365	0,60	18.000	0,73	72.000	0,77	180.000	0,79
480	0,635	21.600	0,732	79.200	0,772	187.200	0,79
560	0,65	25.200	0,738	86.400	0,772	194.400	0,79
700	0,66	28.800	0,739	90.000	0,772	201.600	0,79
800	0,67	32.400	0,740	93.600	0,779	208.800	0,79
960	0,675	36.000	0,744	97.200	0,780	216.000	0,79
1080	0,68	39.600	0,749	100.800	0,783	223.200	0,79
1440	0,685	43.200	0,75	108.000	0,785	223.480	0,79
1920	0,69	46.800	0,755	111.600	0,785	230.400	0,78
2720	0,695	50.400	0,76	129.600	0,785	234.000	0,78
3440	0,699	54.000	0,764	144.000	0,785		

Essai de débit de Villeneuve.

Remontée

t'	s'	t'	s'
30	0,65	720	0,14
60	0,52	780	0,137
90	0,45	840	0,134
120	0,385	900	0,132
150	0,38	960	0,129
180	0,31	1200	0,122
240	0,25	1440	0,116
300	0,21	1680	0,112
360	0,185	1920	0,108
420	0,17	2400	0,102
480	0,16	3600	0,08
540	0,15	7200	0,065
600	0,146	10800	0,05
660	0,142	14400	0,04
		18000	0,03

estimation est tirée à partir des mesures faites aux piézomètres situés à une certaine distance du puits du pompage. Nous avons représenté les droites de descente et de remontée de la nappe (fig. 7 et 7bis) correspondant aux périodes pendant et après pompage. Ce sont les droites de Jacob. Pour la descente on a les logarithmes des temps (secondes) sur l'axe des abscisses et en ordonnées les rabattements en mètres (division arithmétique). Pour la remontée, en ordonnées on a les rabattements résiduels en mètres et en abscisses les logarithmes du rapport $\frac{t_1}{t_2}$.

Remarques sur la droite de descente.

1^o) Normalement, les courbes de descente ont la concavité tournée vers le haut, c'est le contraire qui se produit dans cette représentation.

2^o) La baisse du plan d'eau dans le puits est très rapide au début car au bout de 560 secondes seulement, on enregistre un rabattement de 0,65 m alors qu'on a obtenu pour une durée totale de 65 heures de pompage un rabattement de 0,79m.

Pour expliquer ces deux anomalies, nous supposons qu'après le premier essai de pompage qui a eu lieu trois mois plus tôt, le remplissage de la zone développée du puits s'est fait avec apport des petits éléments, (sables fins, sables argileux) car la coupe du puits avant pompage montre une granulométrie très hétérogène. Ces éléments fins auraient provoqué un colmatage autour du puits. Or, au début du pompage on a puisé dans le stock qui s'était constitué dans la zone développée du puits, mais étant donné la présence de la zone colmatée, le remplacement des eaux puisées par les eaux de la nappe proprement dite se serait fait difficilement, d'où baisse rapide dans la zone développée, et ce n'est qu'après le décolmatage que se serait produit l'envahissement de la zone développée du puits par les eaux retenues derrière le barrage créé par le colmatage, ce qui se traduit par un rapide amortissement de la baisse du plan d'eau dans le puits entraînant par là même l'apparition d'une concavité tournée vers le bas dans la représentation de la courbe. La première partie du diagramme (forte pente) correspondrait au passage de l'influence du pompage dans cette zone de moindre perméabilité.

10² 2 3 4 5 6 7 8 9 10³ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁴ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁵

PROFIL DE DESCENTE DANS LE PUIS DE VILLENEUV

0.000 m
0.000 m



Fig. 7

DROITE DE REMONTÉE DANS LE PUITS DE VILLENEUVE

$l = 10^1 \text{ m}^2$
 $C = 0,08 \text{ m}$
 $Q = 0,047 \text{ m}^3$

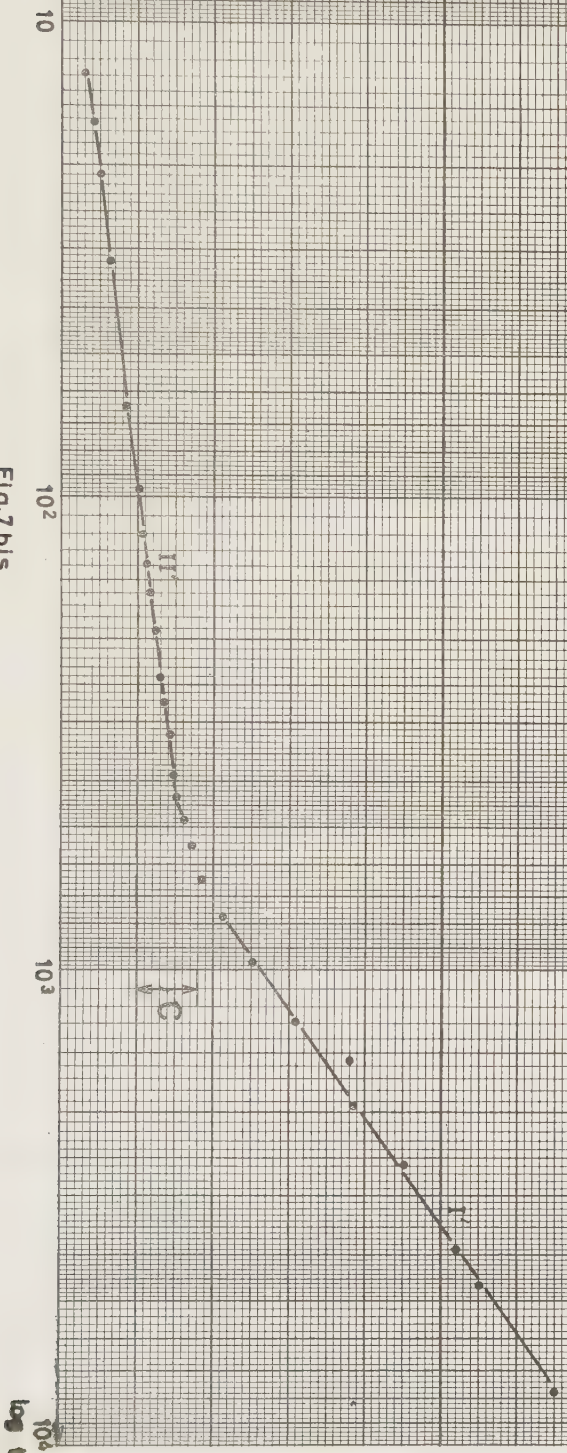


Fig. 7 bis

Nous utilisons la méthode d'approximation logarithmique.

Nous avons, pour la descente obtenu une droite rabattement-logarithme du temps, qui répond à la formule $s = \frac{0,183}{T} Q \log \left(\frac{2,25 T \cdot t}{S} \right)$ où s est le rabattement en m en un temps donné, Q est le débit constant en m^3/s , T la transmissivité, t , temps en secondes, x la distance du point des mesures à l'axe du puits, S le coefficient d'emmagasinement.

On considère $\frac{0,183}{T} Q$ comme constante, déterminée par le coefficient angulaire de la droite, la valeur de cette constante est donnée par l'accroissement du rabattement dans un cycle logarithmique, soit c cette grandeur.

On aura $c = \frac{0,183}{T} Q$ ce qui permet de déterminer T .

$$T = \frac{0,183}{c} Q \text{ avec } T \text{ en } m^2/s, c \text{ en } m \text{ et } Q \text{ en } m^3/s.$$

Pour la descente $c = 0,052$ m d'où

$$T = \frac{0,183 \times 0,047}{0,052} = 1,610^{-1} m^2/s$$

Pour ce calcul nous avons considéré la droite II.

Nous n'avons pu calculer le coefficient d'emmagasinement S .

Les mesures des rabattements faites dans le puits de pompage ne le permettent pas.

La droite de remontée ($s' - \log t/t'$) montre une remontée rapide d'eau tout de suite après l'arrêt du pompage dans l'ouvrage mais cette vitesse de remplissage du puits diminue au fur et à mesure que t' augmente.

Nous calculons une autre valeur de T par la droite de remontée, toujours en appliquant la méthode de l'approximation logarithmique.

Le rabattement résiduel est donné par la formule

$s' = \frac{0,183}{T} Q \log \frac{t}{t'}$, avec t' temps écoulé depuis l'arrêt du pompage.

La constante $\frac{0,183}{T} Q$ est déterminée comme précédemment par le coefficient angulaire de la droite. Q est constant, on aura :

$$c = \frac{0,183 Q}{T}$$

$$\text{ou } T = \frac{0,183 Q}{c}$$

Dans la courbe de remontée de cet essai de pompage, $c = 0,08$ m.

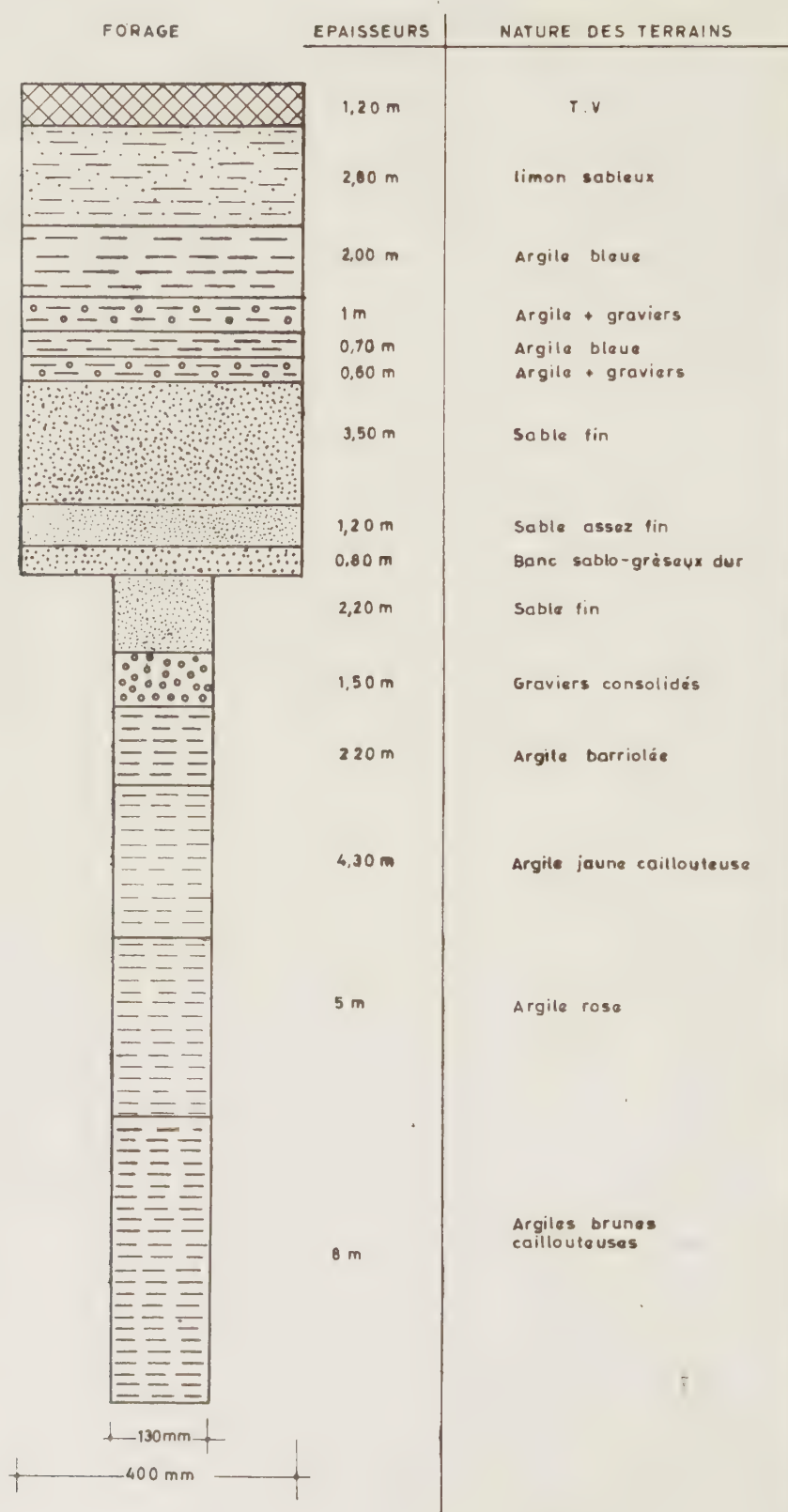
$$T = \frac{0,183 \times 0,047}{0,08} = 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$$

Ces deux valeurs de T sont dans le même ordre de grandeur $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$. Le deuxième résultat se rapproche de la réalité du fait que pendant la remontée, les incidents dus au pompage (arrêts de la pompe) sont éliminés.

REMARQUES.

Le prolongement de la droite de remontée II', recouperait l'axe des temps, pour s' nul bien avant un temps infini. Ce phénomène pourrait s'expliquer soit parce que pendant le pompage, on a atteint une zone de meilleure transmissivité (apports importants), soit par la diminution du coefficient d'emmagasinement (inclusion des bulles d'air dans l'aquifère pendant le pompage).

COUPE DU FORAGE POUR L'ALIMENTATION EN EAU DE ROQUEMAURE



II - Essai de Roquemaure (Génie Rural). (18,19,20,21 Mai 1965)

Etant donné la nature non potable des eaux de la ville de Roquemaure, le Génie Rural de Nîmes a été amené à faire des nouvelles études pour l'alimentation de Roquemaure.

Les données de cet essai de pompage nous ont été communiquées par le Génie Rural ; malheureusement, l'exploitation de ces données nous paraît difficile car les relevés des rabattements, n'ont pas été rigoureusement faits pendant toute la durée de l'essai. Comme nous le verrons par la suite, l'essai a commencé le 18 mai à 11h 23 avec un niveau de -1,65 m. A 13h 50 le niveau d'eau dans le forage passait à -5,91 m. Le 19 mai à 9 h ce niveau était de -5,60 m ; le 20 mai à 9h 20 le niveau relevé était de -5,04 m ; le 21 mai à 7 h, -5,00 m et à l'arrêt définitif, à 10 h, le niveau final dans le puits était de -6,40 m.

Cette incohérence des résultats nous a obligés à n'utiliser que les toutes premières données de l'essai (de 11h 23' à 13h 50' le 18-5). Nous avons pensé que ces premières données traduisaient la véritable réaction de la nappe et que le début de la droite de Jacob obtenue nous donnerait une transmissivité de l'aquifère proche de la réalité.

Le forage d'essai est situé au Nord de la Commune de Roquemaure, proximité de la ferme "LA ROCHA" (Coordonnées x = 794,28 y = 198,38). Il est supposé être dans les alluvions du Rhône, mais la coupe du forage (Pl. XIX) montre une épaisseur peu importante de limon et le reste du forage se situe dans le Eliocène sableux et argileux qui affleure non loin de là.

Résultats

Le 18 mai

Moteur diésel.

Crépine d'aspiration à -11, 50 m

Démarrage à 11 h 23'	N = - 1,65 m	= N origine
11 h 24'	- 5,32	
25	- 5,40	

11 h 25'30''	-5,45
26	-5,55
26'30''	-5,54
27 00	-5,62
27 30	-5,66
28 00	-5,71
28 30	-5,68
29 00	-5,65
29'30''	-5,66
30 00	-5,70
31	-5,80
32	-5,83
33	-5,90
34	-5,93
38	-5,93

Prélèvement des échantillons : eau trouble

Mesure de débit : fût jaugé : 224 litres en 11,3 secondes soit 20 l/s ou 72 m³/h.

11 h 45	-5,90
48	-5,91
12 h 00	-5,98
03	-5,99

Q = 224 litres en 11,7 sec. soit 19,1 l/s, eau claire

12 h 07	-5,95
13 h 50	-5,91

Q = 224 litres en 12 secondes soit 18,6 l/s ou 67 m³/h.

Le 19 mai - 9 heures -5,60

Prélèvement des échantillons : eau claire

Q = 224 l. en 13,4 soit 16,7 l/s ou 60 m³/h.

9 h 45	- 5,53
9 h 45'15''	- 5,65
30''	- 5,70

9 h 46'00''	- 5,70
-------------	--------

Q = 224 litres en 12,5 secondes soit 17,9 l/s ou 61 m³/h.

9 h 50	- 5,74
52	- 5,73

9 h 52	- 5,73
15''	- 5,78
31''	- 5,80
45	- 5,80

9 h 55	- 5,81
--------	--------

Q = 224 litres en 12,2 secondes soit 18,3 l/s ou 66 m³/h.

9 h 57'00''	- 5,81
-------------	--------

Q = 224 litres en 12,3 secondes soit 18,2 l/s ou 65,5 m³/h.

10 h 00	- 5,81
11 h 00	- 5,73

Q = 224 litres en 12,5 secondes soit 17,9 l/s ou 64 m³/h.

13 h 30	- 5,80
18 h 00	- 5,80
19 h 30	- 5,28

20 mai 1965

9 h 20	- 5,04
--------	--------

Q = 224 litres en 14,4 secondes soit 15,5 l/s ou 55,8 m³/h.

10 h 30	- 5,04	
11 h 30	- 5,04	
14 h	- 5,05	
16 h	- 5,05	
17 h	"	
19 h 30	"	
<u>21 mai 1965</u>		
7 h	- 5,06	
7 h 30	- 5,06	Arrêt pour moteur
7 h 35		Reprise
9 h 20	- 6,40	
9 h 35	- 6,41	
10 h	- 6,40	Arrêt définitif.

La durée considérée est très faible (2 h 27' soit 8.820 secondes). Mais pendant ce temps, on obtient un rabattement de 4m,26. Nous pouvons envisager une étude de la réaction de l'aquifère par la méthode d'approximation logarithmique. Comme ci-dessus, nous représentons les résultats dans le système (s - logt) où les rabattements sont en mètres et les temps en secondes. On sait que dans la formule $T = \frac{0,183 Q}{C}$ T représente la transmissivité de l'aquifère en m^2/s , Q en m^3/s et C en m.

Pour l'essai considéré et le début de droite obtenue nous avons $Q = 0,020 m^3/s$, $C = 0m,72$.

$$T = 5.10^{-3} m^2/s \quad (1)$$

(Impossibilité de calculer le coefficient d'emmagasinement S - par manque d'observation à un autre point que dans le puits d'essai).

Ce résultat paraît être confirmé par la coupe de l'aquifère à cet endroit. L'aquifère d'après la coupe du forage est constituée par du sable fin et très fin, avec blocs sablo-gréseux durs que nous avons décrits dans la partie géologique de ce travail comme caractérisant l'Astien de la région, enfin

(1) Voir graphique fig.8

DROITE DE DESCENTE DANS LE FORAGE DE ROQUEMAURE (DROITE DE JACOB)



$$\begin{aligned} Q &= 0.024 \text{ m}^3/\text{s} \\ T &= 5 \cdot 10^3 \text{ m}^2/\text{s} \\ C &= 0.72 \text{ m} \end{aligned}$$

Fig. 8

des argiles mélangées aux graviers. Cette transmissivité est moins bonne dans cette partie de la nappe alluviale située au Nord de Roquemaure que dans la partie Sud (région de Sauveterre et Villeneuve-les-Avignon) où elle atteint l'ordre de grandeur de $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$. (essai de Villeneuve).

De cette transmissivité nous déterminons l'ordre de grandeur du coefficient de perméabilité k par la relation $T = ke$, où e représente la puissance de l'aquifère proprement dite. Dans ce forage $e = 10 \text{ m}$.

$$k = \frac{T}{e}$$

$$k = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{10} \text{ m/s soit}$$

$$k = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

Cette valeur de k est liée à la nature des terrains qui constituent l'aquifère. Nous avons trouvé plus haut dans le chapitre consacré aux sondages et forages le même ordre de grandeur de k dans les sables du Pliocène de la région de Traslepuv.

Conclusions sur cet essai :

Etant donné la courte durée que nous avons utilisée pour trouver les résultats ci-dessus, nous nous abstenons à tirer des conclusions catégoriques.

Cependant nous pouvons remarquer que :

1) la perméabilité de la nappe alluviale au Nord de Roquemaure est très faible par rapport à la partie sud. C'est le résultat des variations des faciès en profondeur dans la plaine alluviale.

2) Le débit d'utilisation Q_u devra demeurer inférieur à $70 \text{ m}^3/\text{h}$ car on a remarqué lors de l'essai que l'eau était trouble à $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ (particules des terrains et grains de sables) alors que les prélèvements faits à un régime inférieur à $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ ne montraient pas ce phénomène.

3) Enfin, cette faible perméabilité des terrains peut entraîner un jour ou l'autre une pénurie en eau. Bien que située en bordure du Rhône, la nature des terrains qui constituent cette partie de la nappe ne permet pas une recharge rapide de la nappe par le Rhône.

III - Essai de Pujaut au Puits n° 30 (19-8-1965)

Le puits n° 30 ($x = 794,08$ $y = 189,40$) est situé en bordure sud de l'ancien étang de Pujaut, dans la zone de passage de la Faille de Pujaut.

Déroulement de l'essai.

a) Matériel : vieux moteur à essence.

- 1) Conduites de 100 pour l'aspiration et le refoulement (100 mm)
- 2) Bassine de 12 l pour l'estimation de débit
- 3) Sonde électrique pour mesurer les rabattements.

b) Installation.

Refoulement à 10 m du puits dans une rigole en pente amenant l'eau dans une petite "roubine" à sec située à 70 m de l'emplacement du puits.

c) Résultats.

Niveau avant pompage dans le puits -2,92 m (1)

Niveau après pompage -4,79 m

Durée totale de l'essai 3h35'

$Q = 0,004 \text{ m}^3/\text{s}$ soit $15 \text{ m}^3/\text{h}$,

(1) avec comme niveau repère la margelle du puits.

III - Essai -

Pour la descente :

Temps	Niveau dans le puits	Temps	Niveau dans le puits
6 h 55'	2,920 m	8 h 15'	4,680 m
7 h	3,295	8 h 30	4,713
7 h 5	3,570	8 h 45	4,790
7 h 10	4,070	9 h 00	4,790
7 h 15	4,430	9 h 15	4,790
7 h 20	4,160	9 h 45	4,870
7 h 25	4,160	10 h 00	4,790
7 h 30	4,550	10 h 30	4,790
7 h 35	4,550		
7 h 40	4,550		
7 h 45	4,570		
7 h 50	4,570		
7 h 55	4,570		
8 h 00	4,600		

III - Essai -

Remontée de l'eau dans le puits.

Temps	Niveau dans le puits	Temps	Niveau dans le puits
10 h 35'	4,215 m	11 h 07'	3,120 m
10 h 37'	4,015	11 h 11	3,095
10 h 39	3,850	11 h 15	3,075
10 h 41	3,595	11 h 19	3,055
10 h 43	3,490	11 h 23	3,035
10 h 45	3,415	11 h 27	3,030
10 h 47	3,355	11 h 31	3,015
10 h 49	3,310	11 h 35	3,005
10 h 51	3,290	11 h 40	2,985
10 h 53	3,240	11 h 45	2,985
10 h 55	3,225	12 h 12	2,965
10 h 57	3,195	12 h 45	2,940
10 h 59	3,185	13 h	2,930
11 h 03	3,145		

Calcul de T par la méthode d'approximation logarithmique.

1) Représentation graphique. (fig.9 et 9 bis)

Nous avons procédé comme plus haut en présentant sur du papier semi-logarithmique les rabattements et les logarithmes des temps ($s = \log t$) pour la descente et pour la remontée les rabattements résiduels et les $\log \frac{1}{t}$.

2) Application de la formule :

$$T = \frac{0,183 Q}{c}$$

$$Q = 0,004 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$c = 0,98 \text{ m (descente)}$$

$$c = 0,65 \text{ m (remontée)}$$

a) descente.

$$T = \frac{0,183.4.10^{-3}}{0,98}$$

$$T = 8.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

b) remontée.

$$T = \frac{0,183.4.10^{-3}}{0,65}$$

$$T = 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s.}$$

Remarques.

a) Sur le graphique $s = \log t$, nous remarquons qu'il y a des ressauts, sorte de paliers successifs, nous attribuons cette anomalie à la variation de débit, car il nous a été impossible étant donné l'état vétuste de la pompe de maintenir le moteur rigoureusement au même régime.

b) Nous retenons comme valeur de transmissivité moyenne l'ordre de grandeur de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour cet essai. Nous pensons qu'elle est assez bonne pour cette zone de broyage.

c) Nous n'avons pas pu calculer le coefficient d'emmagasinement n'ayant pas de points d'observation des variations du niveau de la nappe dans cette zone en dehors du puits d'essai.

2 3 4 5 6 7 8 9 10² 2 3 4 5 6 7 8 9 10³ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁴ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁵

DROITE DE DESCENTE DU PUIS 30 DE PUVAUT

$Q = 0.004 \text{ m}^3/\text{s}$
 $L = 0.98$
 $I = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

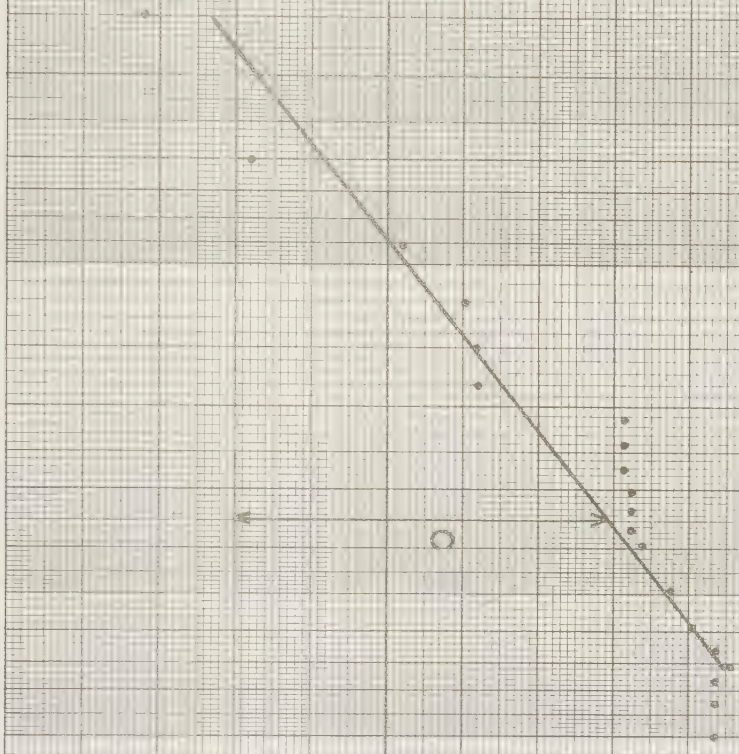


Fig. 9

V - HYDROCHIMIE

Pour cette partie d'étude, nous avons prélevé pour l'analyse au laboratoire deux échantillons d'eau en moyenne par km². Le nombre d'analyses obtenues nous permet d'apprécier l'évolution chimique des eaux de la nappe alluviale du Rhône et de caractériser les eaux des unités hydrogéologiques ainsi que de certaines zones limitrophes de ces trois unités.

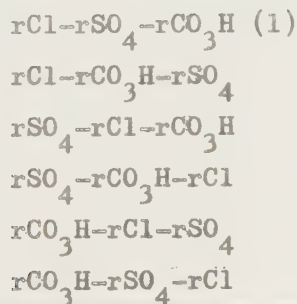
Nous pourrions diviser ce travail selon le schéma suivant.

- 1°) Classement des eaux d'après les anions et cations dominants dans chaque unité hydrogéologique.
- 2°) Relation entre les différents sels trouvés dans l'eau et le terrain de leur gisement.
- 3°) Comparaison des eaux de même composition chimique des différentes unités hydrogéologiques.
- 4°) Variations quantitatives des éléments de la nappe captive de Pujaut.
Comparaison des eaux des nappes captives de Pujaut et de Traslepuys.
- 5°) Etude des cartes hydrochimiques.
- 6°) Intérêt pratique de l'hydrochimie.
- 7°) Conclusions sur l'étude hydrochimique.

1°) Classement des eaux.

Pour réaliser ce classement nous partons des formules suivantes dans lesquelles les ions sont donnés par ordre de grandeur décroissant.

a) anions.



- (1) L'unité adoptée ici est le milliéquivalent par litre ou mé/l.
La lettre "r" indique que la concentration est exprimée en mé/l.

b) cations.

$rCa - rMg - r(Na+K)$

$rCa - r(Na+K) - rMg$

$rMg - rCa - r(Na+K)$

$rMg - r(Na+K) - rCa$

$r(Na+K) - rCa - rMg$

$r(Na+K) - rMg - rCa$

La caractéristique d'une eau est donnée par les anions et les cations dominants par exemple, si les résultats d'une analyse sont :

anions : $rCl - rSO_4 - CO$

cations : $r(Na+K) - rCa - rMg$

Nous disons que l'eau considérée est chlorurée sodique, à tendance sulfatée. La teneur en anions de l'eau peut être mise en évidence par l'addition d'un suffixe ou d'un préfixe au nom de l'élément dominant. Par exemple, pour l'eau chlorurée, on dit qu'elle est hyperchlorurée, chlorathalassique, chlorurée forte, moyenne, oligochlorurée, normale selon que

$rCl > 19,7$ $19,7 > rCl < 11,8$ $11,8 > rCl < 3,9$ $3,9 > rCl < 1,12$ $1,12 > rCl < 0,42$ et $rCl < 0,28$
(H. SCHOELLER 1962 - avec transformation des limites en mé/l).

En nous tenant aux formules ci-dessus, nous obtenons les grandes familles suivantes :

1°) - bicarbonatée (calciqique ou sodique ou magnésienne)

2°) - sulfatée (calciqique ou sodique ou magnésienne)

3°) - chlorurée (calciqique ou sodique ou magnésienne)

a) - Nappe alluviale du Rhône (alluvions récentes)

Nous donnons d'abord l'allure de la composition chimique de l'eau du Rhône sur le diagramme semi-logarithmique de Schoeller (Fig. 10)
L'eau du Rhône a une résistivité de 1800 ohm.cm à 20°C (prélèvement fin Juin 1965).

DIAGRAMMES SEMI-LOGARITHMIQUES

LÉGENDE

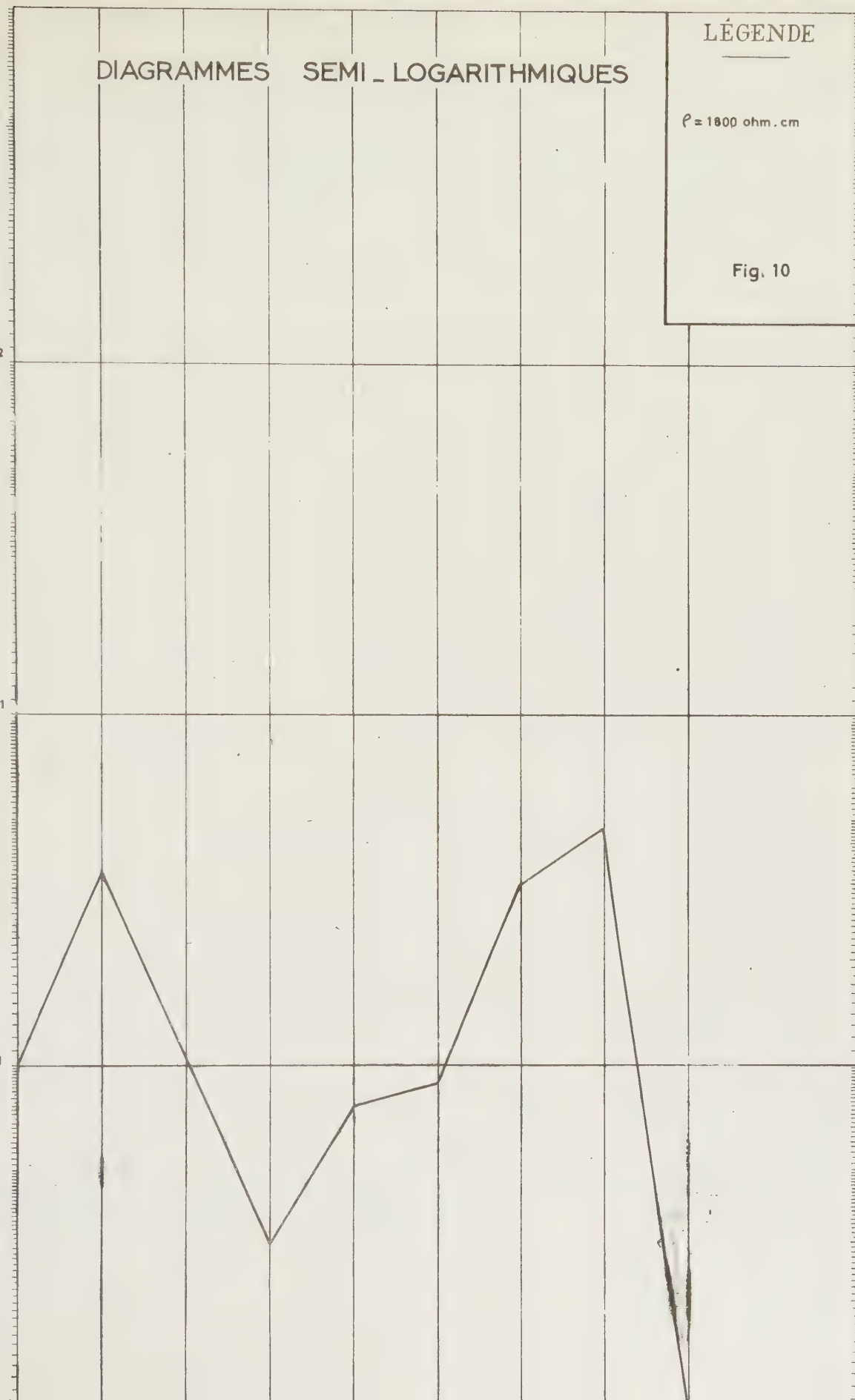
$\rho \approx 1800 \text{ ohm.cm}$

Fig. 10

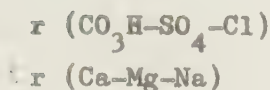
10^2

10^1

1



Elle répond à la formule



$$\text{soit } c = 12,84 \text{ (1)}$$

C'est une eau bicarbonatée calcique avec tendance à l'équilibre des teneurs en chlorures et sulfates. La comparaison de l'eau du Rhône avec les analyses faites en divers points de la plaine alluviale nous permet de définir certaines zones où l'influence du Rhône est le plus ressentie. De Montfaucon à Villeneuve-les-Avignon, ainsi que dans l'île de Barthélemy, nous avons constaté que les résultats d'analyses de 41 échantillons obéissaient à la formule de l'eau du Rhône, sauf en un seul point (M.212) qui donne une eau sulfatée calcique, ce point singulier résulte peut-être du mauvais état du puits de prélèvement qui est rarement utilisé. Dans cette eau bicarbonatée calcique de la nappe alluviale on trouve les anions sulfates généralement en proportion beaucoup plus élevée que les anions chlorures; 20 % des 41 analyses répondent à la formule :



et 7 % à la formule :



Les ions sodium sont aussi en proportion infime par rapport aux ions Ca^{++} et Mg^{++} .

L'examen des différentes cartes hydrochimiques permettra de mieux saisir l'évolution de l'eau à travers cette nappe alluviale. D'ores et déjà, nous pouvons relever certaines variations dans la composition, variations qui nous semblent anormales. C'est ainsi que nous relevons pour les échantillons V.119 et V.117 une augmentation apparente des chlorures par rapport aux

(1) c = concentration totale en mé/l.

sulfates ; nous avons pensé à un échange des bases qui aurait provoqué une réduction des sulfates. Mais les coupes des sondages dans cette zone nous montrent un substratum calcaire néocomien très fissuré lié probablement à un système karstique, ce qui compromet l'hypothèse de l'échange des bases ; nous faisons appel à une deuxième explication qui serait un apport supplémentaire du sodium dans l'eau grâce au karst ; ceci entraînerait la diminution des sulfates par la formation du CaSO_4 d'où une augmentation apparente des chlorures par rapport aux sulfates.

Dans les puits et forages M.212, R.246, R.255, S.273, S.238, V.126, nous nous trouvons en présence d'une série d'anomalies au sein de la nappe alluviale. Les eaux demeurent bicarbonatées calciques mais avec une concentration plus importante en ions sodium et potassium réunis. On a encore pour les anions la formule



mais pour les cations la formule devient



Nous donnons ci-dessous les résultats de ces analyses en mé/l.

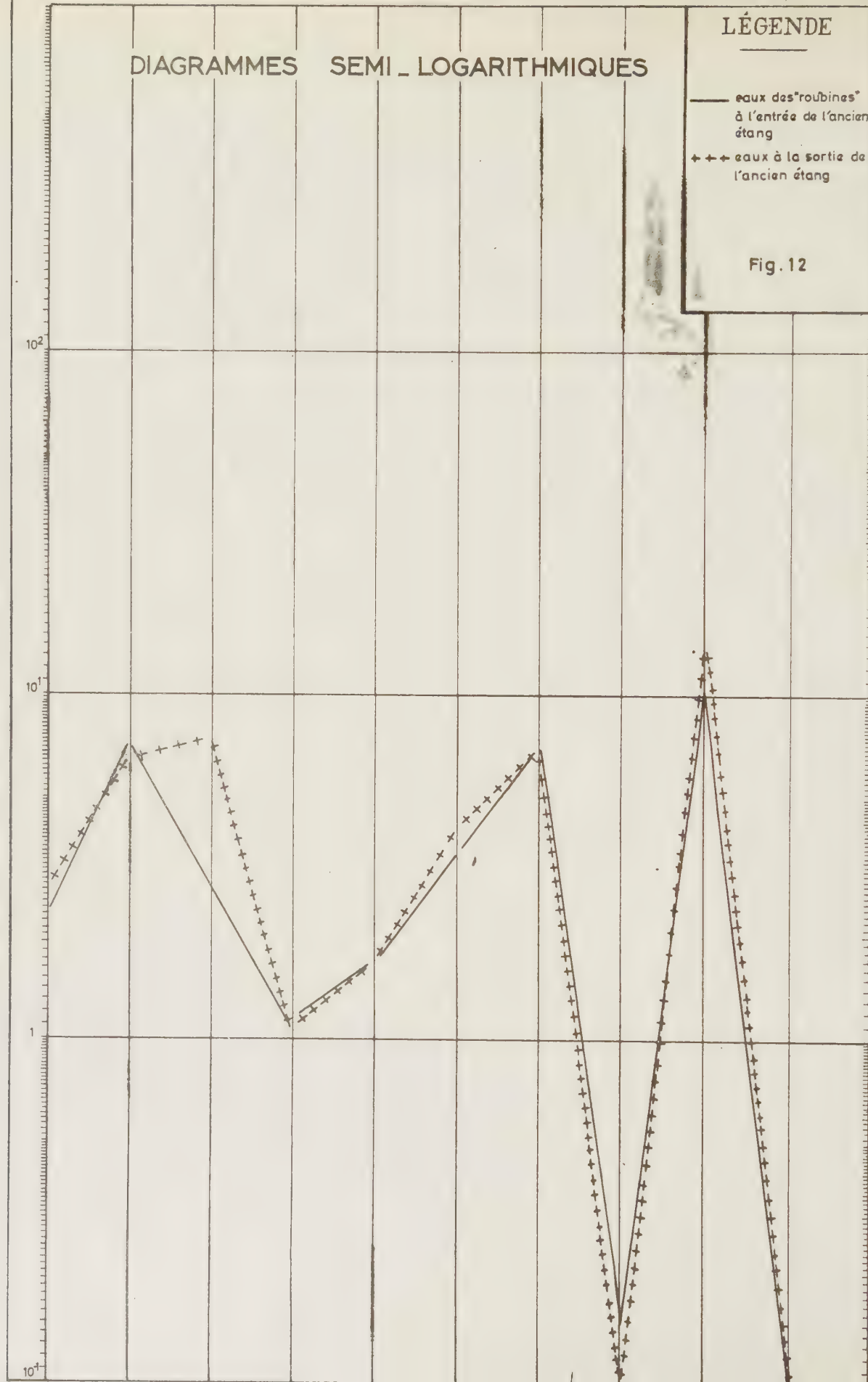
N°	rCa	rMg	r(Na+K)	rCl	rSO ₄	rCO ₃ H	rSO ₄ + Cl	rMg/Ca	total
M.212	12,3	2,3	4,47	3,70	6,55	3,55	1,77	0,18	31,00
R.246	5,1	3,1	4,89	1,95	3,15	7,80	1,60	0,61	20,7
R.255	8,8	3,4	4,28	3,10	6,18	8,60	1,99	0,38	17,8
S.273	4,2	2,0	0,71	0,70	0,64	5,85	0,91	0,48	29,8
S.238	6,8	1,9	1,76	1,30	2,80	6,20	2,15	0,28	20,7
V.126	4,9	1,0	0,73	0,70	1,20	4,80	1,72	0,20	13,3

DIAGRAMMES SEMI-LOGARITHMIQUES

LÉGENDE

- eaux des "roubines"
à l'entrée de l'ancien
étang
- + + + eaux à la sortie de
l'ancien étang

Fig. 12



$$\text{avec i.d}^{(1)} = \frac{\text{Cl} - \text{Na} + \text{K}}{\text{Cl}}$$

Pour ces eaux que nous qualifions d'anormales leur indice de déséquilibre est négatif ce qui explique l'intervention d'un phénomène modificateur qui serait l'échange des bases. Le puits M.212 se trouve à proximité de la limite quaternaire, le puits R.246, dans une zone argilo-limoneuse, le puits R.277, près d'un petit étang et le forage V.126, à proximité des marées marines (péd-vétien). Nous pensons que ces points d'eau sont en contact avec un substratum argileux ou marneux sodique au niveau duquel se produirait l'échange se faisant selon le schéma suivant : $2\text{Na} + \text{Ca}^{++} \rightarrow \text{Ca} + 2\text{Na}^{++}$ ce qui expliquerait l'augmentation de la concentration en ions sodium.

b) Pujaut.(2)

Avant de classer les eaux souterraines de cette région, nous allons d'abord donner certaines précisions sur la composition des eaux des "roubines" (voir p. 4) qui traversent cette commune. Les prélèvements, au point "a" (voir carte d'inventaire) entrée de la "roubine" de Saze dans l'ancien étang de Pujaut et au point "j" sortie de toutes les "roubines" qui drainent l'ancien étang, nous ont donné les résultats suivants :

n°	rCa	rMg	r(Na+K)	rCl	rSO ₄	rCO ₃ H	TH	rSO ₄ /Cl	rMg/Ca	i.d	C	TA
Pa	7,3	2,8	1,28	1,7	3,46	7,1	10,1	2,0	0,32	+	23,60	0,2
Pj	6,7	7,6	1,1	1,7	4,20	6,8	14,3	3,6	1,11	+	28,10	0,2

A l'entrée de l'ancien étang l'eau est bicarbonatée calcique.

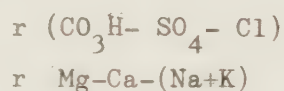
$$r (\text{CO}_3\text{H} - \text{SO}_4 - \text{Cl})$$

$$r (\text{Ca-Mg} - \text{Na+K})$$

(1) i.d = indice de déséquilibre chlore-alcalin.

(2) Voir fig.12

Mais il y a apparition d'ions H^- et CO_3^- groupés sous l'appellation TA dans nos résultats analytiques. Ces ions indiquent qu'il y a une réduction des sulfates dans ces eaux. Les valeurs élevées de CO_3H pour une eau de surface plaide en faveur de la réduction des sulfates. A la sortie de l'étang, après être mélangées aux eaux provenant des différents terrains en particulier celles provenant du Pliocène marneux de Pujaut dont les eaux donnent les valeurs élevées en sulfate (P.87 P.12 etc...), la composition des eaux de la "roubine" évacuatrice devient bicarbonatée magnésienne calcique.



En même temps la concentration en TA qui était 0,5 mé/l devient cinq fois moins marquant ainsi un ralentissement du phénomène de réduction des sulfates. Les chlorures et le sodium demeurent constants dans les deux cas.

Les eaux de la première nappe de Pujaut, montrent une composition variable : on a d'abord dans les points : P.(48,73,36,93,91,90,80,82,79,70,110,104,96,10,26,30,22,39,6,9,18,4,56,69,66,62,65,50,Ps₃) une eau bicarbonatée calcique magnésienne. Les points P.(74,59,285) donnent une eau bicarbonatée sodique calcique. On rencontre les eaux sulfatées sodiques aux points P.(87 et 46) les eaux sulfatées magnésiennes en P.12 et bicarbonatées magnésiennes en P.19.

A Pujaut comme à la nappe alluviale du Rhône, nous retrouvons la prépondérance des eaux bicarbonatées calciques magnésiennes, mais les ions Mg^{++} y sont beaucoup plus nombreux qu'à la plaine du Rhône.

Un forage artésien fait pendant la dernière Guerre Mondiale à l'endroit indiquant l'emplacement d'un aéroport, révèle la composition de la nappe captive sous le Pliocène marneux qui forme le fond de l'ancien étang. Ce forage porte le n° Ps₁. Lors du prélèvement de janvier 1965, cette eau sortait à la température de 16°5c et sa résistivité ramenée à 20°c était de 1100cm.cm.

Les résultats de l'analyse sont les suivantes :

rCa	rMg	r(Na+K)	rCl	rSO ₄	rCO ₃ H	i.d	c
2,1	3,3	3,79	1,7	2,8	6,85	-	19,54

ce qui donne comme formule

$$\begin{aligned} & r \text{ CO}_3\text{H} - r\text{SO}_4 - r\text{Cl} \\ & r(\text{Na}+\text{K}) - r\text{Mg} - r\text{Ca} \end{aligned}$$

C'est une eau bicarbonatée sodique magnésienne. L'eau est en contact prolongé avec les argiles bleues du Pliocène ce qui occasionne son enrichissement en ions Na^+ et K^+ par le truchement de l'échange des bases, phénomène mis en évidence par i.d. négatif. Les argiles sodiques plaisanciennes échangeraient les ions Na^+ avec des ions Ca^{++} de l'eau selon le schéma : perm $2\text{Na} + \text{Ca}^{++} \rightleftharpoons \text{Ca} + 2\text{Na}^+$. La circulation étant très lente dans les argiles, l'eau a le temps de se concentrer de plus en plus en Na^+ . En ce qui concerne les valeurs plus élevées de Mg^{++} par rapport à Ca^{++} nous les expliquons par le fait que lors de l'échange de Ca^{++} avec le permutolite Na des argiles, la concentration en ions Mg^{++} ne varie pas, mais la diminution de la concentration des ions Ca^{++} de l'eau par le long contact avec les argiles entraîne une apparente concentration supérieure des ions Mg^{++} par rapport aux ions Ca^{++} .

On trouve dans les prélèvements effectués dans le secteur de Pujaut certains points d'eau présentant les caractères d'une eau bicarbonatée sodique ; nous avons parlé de ces points plus haut ; cette eau obéit à la formule :

$$r (\text{Na}+\text{K}) - r\text{Ca} - r\text{Mg}$$

ce qui nous empêche de leur attribuer la même provenance que celle du P.s₁ ;

mais parmi ces points d'eau particuliers, P.74 à la même formule que Ps_1 :

$$r \text{ (Na+K)} - rMg - rCa$$

Nous donnons ci-dessous les résultats d'analyse de P.74

rCa	rMg	r(Na+K)	rCl	rSO ₄	rCO ₃ H	i-d	c
3	3,3	8,42	4,9	5,01	6,65	-	31,48

En comparant les deux résultats, on remarque que la concentration en ions Mg^{++} demeure constante, les ions Na^+ et K^+ ont presque doublé, les ions Cl^- ont triplé, alors que les ions SO_4^{--} ont doublé, ce qui entraîne une augmentation de la concentration totale qui passe de 19,64 pour $P.s_1$ à 31,48 pour P74.

Nous manquons assez de preuves pour déduire que cette eau provient de la nappe captive de Pujaut. Le point 74 est un puits bien couvert par une dalle de ciment sur lequel un petit moteur est installé. La localité de Pujaut étant dotée d'eau, ce puits ne sert presque plus, sauf pour la lessive, ce qui expliquerait la forte concentration totale de cette eau. Mais nous sommes persuadés que ce puits est dans la zone des argiles plaisanciennes, d'où possibilité d'échange des bases.

c) Traslepuy.(1)

Dans la zone intéressant la dépression de Traslepuy, les eaux sont généralement bicarbonatées calciques magnésiennes ou sodiques. Les 74 % des 29 échantillons répondent à la formule :

$$rCO_3H - rSO_4 - rCl$$

les 22 % à la formule

$$rCO_3H - rCl - rSO_4$$

et les 4 % à la formule

$$rSO_4 - rCO_3H - rCl$$

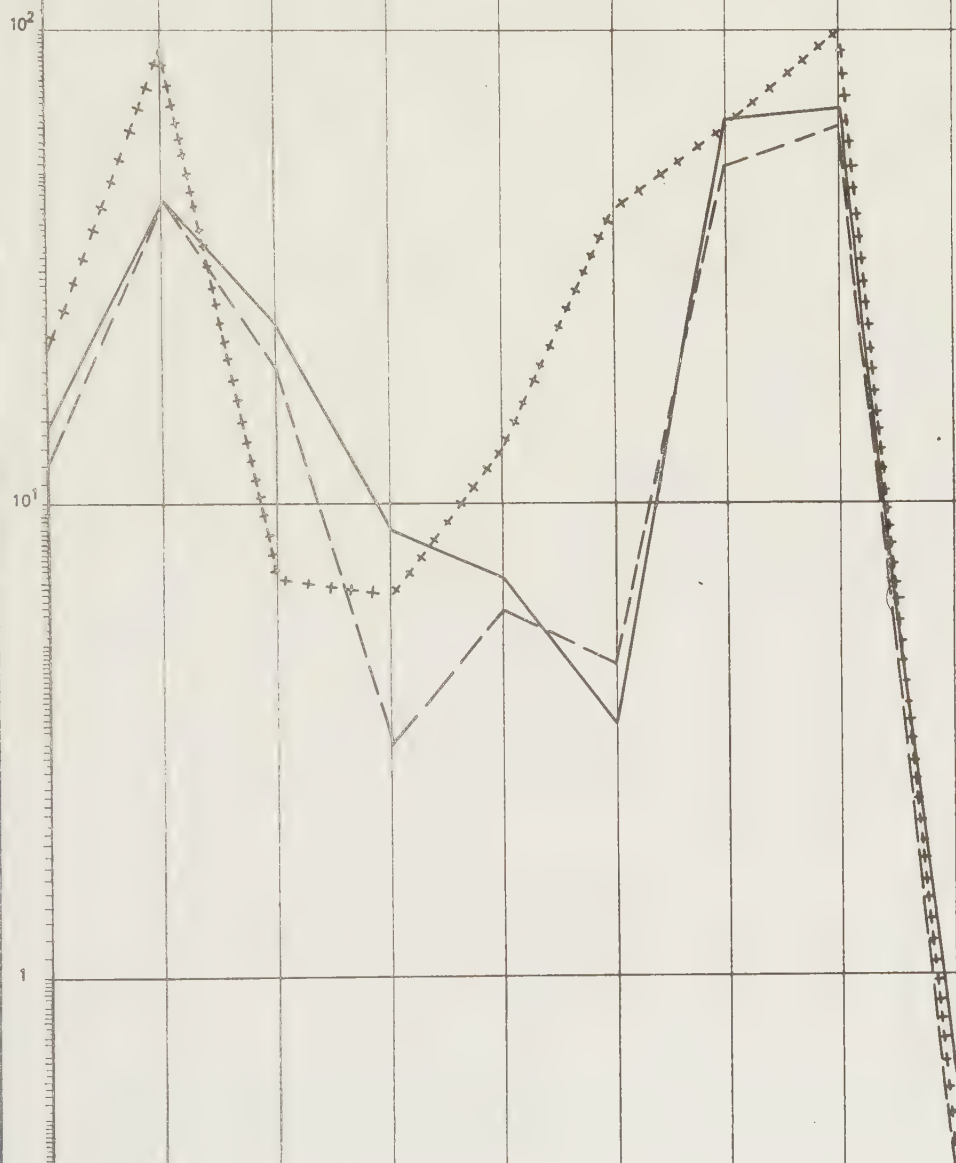
(1) Voir fig. 14

DIAGRAMMES SEMI-LOGARITHMIQUES

LÉGENDE

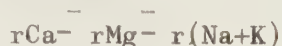
- Roubine
- + + + + Nappe phréatique
R. 174
- Nappe captive
R. 176 bis

Fig. 14



Nous notons une prédominance des sulfates par rapport aux chlorures, peut-être ceci est-il dû à la présence d'une vase noirâtre appelée tourbe par les paysans de la région.

Dans le classement d'après les cations, on relève que 65 % des 29 analyses donnent la formule

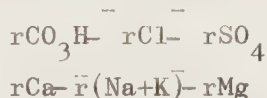


alors que les 35 % restant donnent



Nous pensons que la prédominance alternative des cations Mg et (Na + K) se produirait selon que le puits du prélèvement est entièrement dans le sable astien ou que le fond touche l'astien marneux.

Ces résultats intéressent surtout la nappe phréatique de cette région. Nous avons vu que 22 % des 29 prélèvements avaient plus de chlorures que des sulfates. Nous expliquons ce phénomène par le fait que la nappe étant très peu profonde par endroits, en particulier dans la zone centrale zone marécageuse (ancien étang) à moins de 2 m dans le sol il y a concentration en chlorures; ceci peut aussi s'expliquer par la nature des alluvions du marécage. Il est aussi à remarquer que ces valeurs élevées de chlorures appellent les hautes valeurs de (Na⁺ + K⁺) on a donc :



C'est le cas des puits R.190 R.191 R.153

d) Zones de bordure aux unités hydrogéologiques.

Nous entendons par zones de bordure, celles qui ne présentent pas les mêmes caractéristiques géologiques que les trois unités hydrogéologiques que nous avons définies plus haut mais qui cependant, présentent un intérêt par les apports d'eau aux nappes proprement dites. En général ces zones sont les flancs des collines du Miocène ou des terrasses villafranchiennes et moyennes terrasses.

A) Bordure de la nappe alluviale du Rhône du Nord au Sud.

1^o) Saint-Géniès-de-Comolas

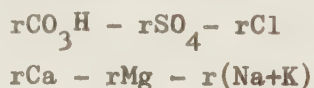
2^o) Zone du flanc est du plateau de Maillac à Roquemaure

3^o) Bordure est du plateau miocène de Sauveterre

4^o) Plateau miocène et terrasse moyenne de Villeneuve-les-Avignon.

Pour la région de Saint-Géniès [analyses S.G. (215-219-260-263-265)]

Les eaux sont comme celles de la nappe alluviale c'est-à-dire bicarbonatées calciques magnésiennes



Le TH est compris entre 8 et 12 alors qu'il a une valeur moyenne de 8 seulement dans les eaux de la nappe alluviale. Les valeurs $r\text{Ca}$ sont au-dessus de 7, donc assez fortes. Les valeurs $r\text{Ca}$ donnent une explication quant à l'origine de ces eaux. Ce sont les eaux qui proviennent du lessivage du cailloutis Villafranchien qui se présente par endroits sous forme de poudingue, la nature du liant étant calcaire; ainsi que du lessivage des assises des sables astiens agglomérés sous forme de dalles gréseuses par un ciment de nature calcaire (voir partie descriptive des faciès).

Zone du flanc est du plateau de Maillac à Roquemaure : analyse (R.201)

Ce sont les eaux bicarbonatées calciques magnésiennes, peu chargées, avec une minéralisation totale de 16,4 mé/l. Elles séjournent très peu dans les assises des cailloutis supérieures du plateau (cailloutis de nature quartzeuse, quartzitique, et cristallophyllienne) car la granulométrie de ces assises permet un écoulement facile des eaux.

Bordure est du plateau miocène de Sauveterre. (S.s₅ ; S.280 ; S.286)

s₅ est une source : nous pensons que ses eaux proviennent du plateau villafranchien d'Aguillon, or une partie de ce Villafranchien repose sur le Miocène qui affleure avec un faciès marneux à l'emplacement de la

source.

Bien qu'en contact avec les marnes, les eaux de cette source ne présentent aucune caractéristique des eaux issues des marnes. Elles demeurent bicarbonatées calciques magnésiennes. Nous attribuons ce fait à deux possibilités, soit un contact très bref entre les marnes et les eaux, accentué par la forte pente de l'affleurement marneux, soit la nature de ces marnes qui serait plutôt calcaire.

Les analyses S.280 et S.286 donnent une composition à peu près identiques à la précédente : eaux bicarbonatées magnésiennes sulfatées. Le puits S.286 est situé entièrement dans l'Helvétien gréseux ; l'eau de ce puits présente la particularité d'avoir $rCO_3H > rCa$, la seule explication que nous donnons à ce phénomène est qu'il y a un apport anormal de CO_2 au contact de ces eaux, CO_2 dont l'origine serait la décomposition des organismes dans l'eau car ce puits n'est utilisé qu'en été et le prélèvement a été fait en Mars.

La minéralisation totale de chacun de ces prélèvements est d'environ 15,5 mé/l, donc inférieure à celle de certaines parties de la nappe alluviale.

Plateau miocène et terrasse moyenne de Villeneuve-les-Avignon. V (114-115)

Le puits de prélèvement V 114 est situé dans l'Helvétien (sables micacés agglomérés) alors que le puits V.115 serait en partie dans la terrasse moyenne et le bas du puits dans l'Helvétien sablo-marneux. Les eaux de ces puits qu'on peut dire situés dans une nappe de coteau sont bicarbonatées calciques magnésiennes, à minéralisation totale faible (moins de 10 mé/l pour V.114) traduisant ainsi un séjour court dans cette zone.

Nous retrouvons le phénomène déjà observé au puits S.286, dans les analyses des eaux de V.114 et V.115, c'est-à-dire que $rCO_3H > rCa$ (pour V.114 $rCO_3H = 3,55$ et $rCa = 2,1$; pour V.115 $rCO_3H = 6,65$ et $rCa = 5,2$). Pour le puits S.286, nous avons donné comme explication une pollution possible des eaux par la décomposition des matières organiques occasionnant un apport anormal de CO_2 dans ces eaux. Mais dans cette zone, nous écartons cette explication car l'état des puits est satisfaisant ; ce sont les puits qu'on utilise souvent. Nous pensons que ce phénomène serait peut-être lié à la nature géologique du terrain de gisement car pour les deux cas, nous nous trouvons dans

l'Helvétien (gréseux et sablo-marneux).

B - Bordure de l'ancien étang de Pujaut.

Les prélèvements ont été faits aux puits : T (16-58-167-169 et 170), et aux sources P: (s_3 et s_4). Les sources sont situées en bordure sud et sud-est du plateau villafranchien d'Aguillon. Leur apparition est due aux argiles pliocènes qui affleurent le long de cette bordure du plateau. Elles donnent des eaux bicarbonatées calciques magnésiennes comme la majorité des eaux de la région, mais leur minéralisation totale est faible, **par rapport** à la moyenne de celle de l'ensemble du secteur Pujaut qui oscille autour de 20 mé/l.

D'autre part, les deux sources, bien qu'issues du même plateau montrent une différence quant à leur minéralisation totale : s_3 (16,65 mé/l) s_4 (12 mé/l). Cette différence est due à la longueur du parcours des eaux depuis le plateau d'Aguillon jusqu'au point de leur apparition. s_4 est presque surplombée par le plateau alors que s_3 en est à une distance appréciable (voir carte d'inventaire).

En ce qui concerne les points T (16-58-167-169 et 170) les eaux sont bicarbonatées calciques sodiques.

C - Bordure de l'ancien étang de Traslepuys. (R.166)

Ce sont les eaux bicarbonatées calciques sodiques. Le puits est situé en bordure du plateau villafranchien de la Forêt-de-Clary dans les sables pliocènes, la composition de ces eaux obéirait aux mêmes lois que les points T (16-58-167-169 et 170), cependant, l'examen de l'indice de déséquilibre chlore-alcalin dont les valeurs absolues respectives sont + 0,50 et - 0,15 nous fait dire que l'apport des ions Na^+ serait dû non à la nature des sables, mais plutôt au fait que le puits R.166, d'ailleurs très profond, aurait atteint le substratum argileux. Il se passerait un échange de bases à ce niveau entre les eaux qui sont chargées en ions Ca^{++} par lessivage des dalles gréseuses des sables agglomérés à ciment calcaire (voir la description des faciès géologiques)

et les argiles sodiques pliocènes.

Pour clore ce paragraphe, nous pouvons dire que les trois unités hydrogéologiques ainsi que leurs abords ont montré en général des eaux bicarbonatées calciques magnésiennes sulfatées. Ces caractéristiques demeurent donc dans la ligne générale que suit la composition chimique des eaux des nappes alluviales (Rhône et anciens étangs). Mais certains points, dans cet ensemble, nous ont donné des eaux sulfatées calciques magnésiennes ou sodiques et chlorurées sodiques, l'examen rapide de la nature géologique des terrains de gisement pourra donner une explication à ces variations au sein des nappes. C'est l'objet du prochain paragraphe.

2°) Relation entre les différents sels trouvés dans les eaux et le terrain de leur gisement.

Deux groupes se dégagent à la lumière du classement des points d'eau par la nature géologique du terrain.

a) Le premier groupe englobe toutes les eaux bicarbonatées calciques magnésiennes, avec comme gisement les alluvions fluviatiles du Rhône et celles des anciens étangs de Pujaut et de Traslepuys. Ces alluvions sont en général surmontées par une certaine épaisseur de limon ou de vase, domaine de la décomposition des matières organiques. Cette décomposition engendre un apport anormal de CO_2 dans l'eau se traduisant par l'augmentation des ions CO_3H .

b) Le deuxième groupe intéresse les eaux bicarbonatées calciques sodiques, bicarbonatées sodiques calciques, sulfatées sodiques. Ce sont en général les eaux du Pliocène en contact plus ou moins prolongé avec les argiles sodiques pliocènes. Ce cas est fréquent dans les secteurs de Pujaut et de Traslepuys où le substratum des nappes superficielles est constitué par ces argiles et le reste de l'aquifère par des sables. Nous attribuons cette prédominance des ions Na^+ dans les eaux, par rapport aux ions Mg^{++} et parfois même aux ions Ca^{++} , aux phénomènes d'échange des bases qui se produiraient entre les eaux

généralement chargées en Ca^{++} et Mg^{++} (lessivage des assises gréseuses à ciment calcaire) et les argiles pliocènes sodiques,

En ce qui concerne les nappes captives de ces deux secteurs, la composition chimique des eaux est essentiellement bicarbonatée sodique magnésienne pour Pujaut et bicarbonatée calcique magnésienne pour Traslepuys.

32) Comparaison des eaux issues des différentes unités hydrogéologiques.

Nous comparons les eaux bicarbonatées calciques magnésiennes de ces trois secteurs. Le graphique de la fig 15 montre l'allure générale que peut prendre la composition des eaux de chacune de ces zones, eaux de même famille (bicarbonatées calciques).

La comparaison est facilitée par le diagramme semi-logarithmique. Les eaux alluviales de ces trois secteurs ont un point commun : la faible teneur en ions ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) ; ce caractère se traduit sur le graphique par une pointe vers le bas.

Au point de vue de la minéralisation totale, ce sont les eaux de Pujaut qui ont une concentration en sels plus importante, puis suivent celles de Traslepuys. Cette différence dans la minéralisation totale tient du fait que les alluvions des deux anciens étangs sont mélangées aux argiles et sables argileux du Pliocène qui affleurent à leurs alentours. Ce mélange rend difficile la circulation des eaux dans la masse aquifère alluviale. Le contact entre les eaux et les alluvions se faisant longtemps, ces eaux se chargent donc plus en sels minéraux que celles de la nappe alluviale du Rhône dont l'aquifère est constituée des galets, graviers et sables. Nous donnons ci-après des rapports de concentrations totales.

$$\frac{\text{Pujaut}}{\text{Rhône}} = 1,5$$

$$\frac{\text{Pujaut}}{\text{Traslepuys}} = 1,3$$

$$\frac{\text{Traslepuys}}{\text{Rhône}} = 1,1$$

DIAGRAMMES SEMI-LOGARITHMIQUES

LÉGENDE

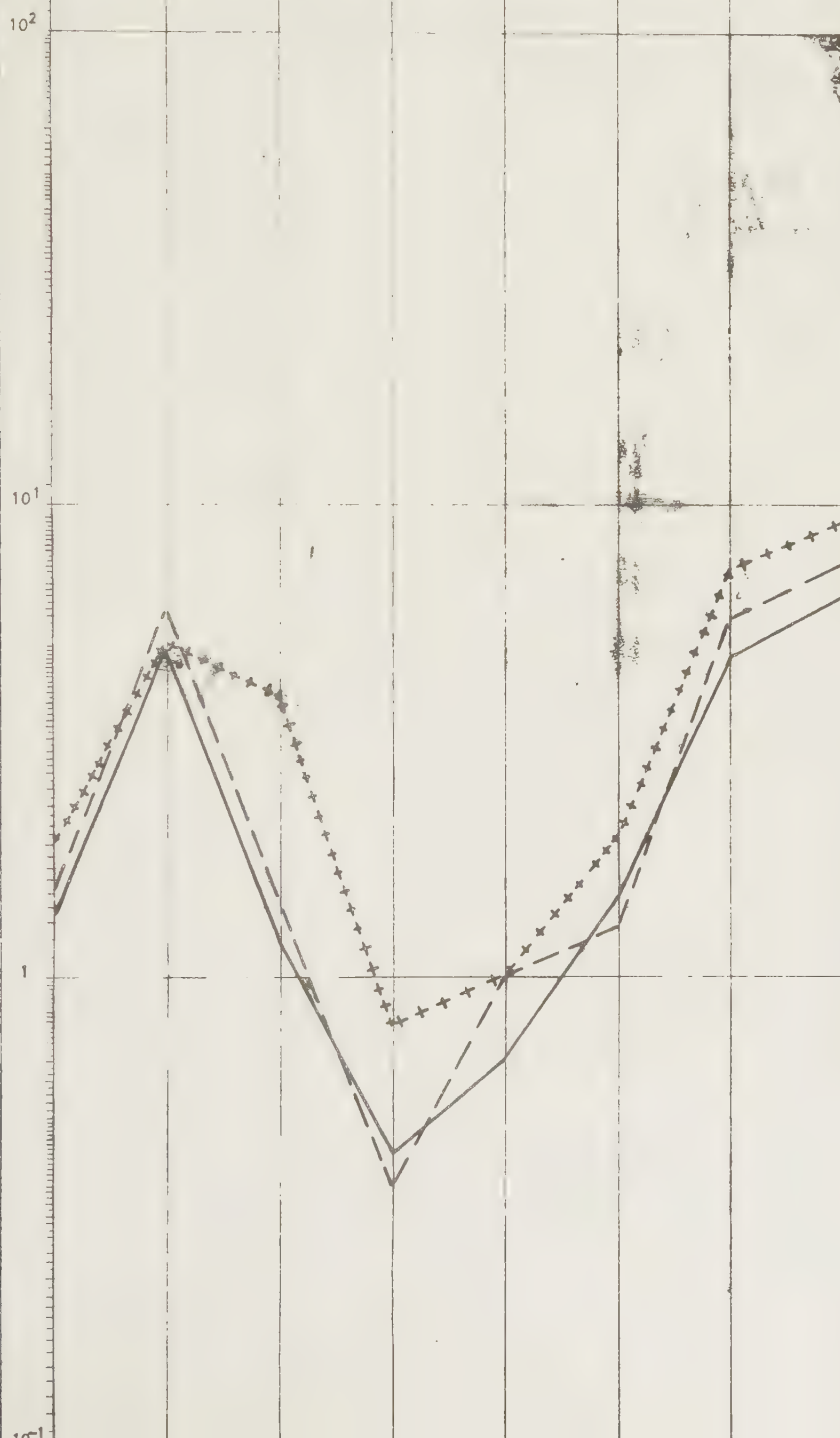
- Alluvions du Rhône
- - - Traslépu
+++ Pujaut

Fig. 15

10²10¹

1

0,1



4°) Variations quantitatives des éléments de la nappe captive de Pujaut.

- Comparaison des eaux des nappes captives de Pujaut et de Traslepuv.

Le but de ce paragraphe est de faire ressortir les variations de la composition chimique des eaux d'une nappe pendant les différentes périodes de l'année d'une part et d'autre part de comparer les eaux des nappes captives (Pujaut et Traslepuv) du point de vue chimique et de leur potabilité.

En ce qui concerne la première partie, nous avons procédé à une analyse chimique des eaux de la nappe captive de Pujaut (Ps₁) en janvier, avril, juin et juillet 1965. Les résultats des analyses sont les suivants :

	rCa	rMg	rNa+K	rCl	rSO ₄	TAC	TH	C
Janvier	2,1	3,3	3,79	1,7	2,8	6,85	5,4	19,54
Avril	2,6	3	3,81	1,15	1,67	6,45	5,6	18,68
Juin	2,3	3,3	3,56	1,25	2,33	6,5	5,6	19,24
Juillet	2,5	2,8	3,80	1,2	2,70	6,5	5,3	19,50
Moyenne	2,37	3,1	3,74	1,22	2,37	6,57	5,47	19,24

La variation de la concentration des différents éléments est très faible. Nous avons pensé faire une analyse moyenne en calculant la moyenne arithmétique de chaque corps dans les quatre analyses. Cette analyse moyenne représenterait l'image des eaux de la nappe captive. Il se dégage de la constance de la concentration des différents sels une autonomie relative des eaux des nappes captives qui restent en marge des variations saisonnières des eaux des nappes libres.

Pour les eaux de la nappe captive de Traslepuv (la nappe située approximativement à une profondeur de 80 à 90 m) nous ne possédons qu'une seule analyse dont les résultats sont les suivants :

rCa	rMg	r(Na+K)	rCl	rSO ₄	TAC	TA	C
1,4	2,4	0,94	0,7	0,34	6,4	6,8	15,18

Les eaux de cette nappe sont bicarbonatées calciques magnésiennes, alors que celles de la nappe de Pujaut sont bicarbonatées sodiques magnésiennes.

Pour comparer ces eaux, nous les avons représentées sur les diagrammes semi-logarithmiques (fig 16). On remarque qu'à part le calcium tous les autres éléments des eaux de Pujaut sont beaucoup plus concentrées que ceux de Traslepu. Nous relevons surtout la faible concentration en sulfates des eaux de Traslepu par rapport à celles de Pujaut ; le rapport des concentrations des sulfates est de l'ordre de $0,15 = \left(\frac{0,34}{2,37} \right)$

Pour terminer cette comparaison, nous examinons la potabilité des eaux de ces deux nappes. Pour cela nous utilisons le diagramme de potabilité de la classification de Schoeller (voir figure 17e). Toutes ces eaux sont dans la zone de bonne potabilité, cependant, on note une tendance des eaux de Pujaut vers la mauvaise zone. Les eaux de la nappe captive de Pujaut mériteraient une étude approfondie avant tout essai d'exploitation en vue d'une utilisation comme eaux potables. Quant à celles de Traslepu, à moins d'une contamination bactériologique, (peu probable à 90 m), elles sont très bonnes pour être exploitées comme eaux potables.

DIAGRAMMES SEMI-LOGARITHMIQUES

LÉGENDE

— EAUX DE PUJAUT
- - - TRASLEPUY

Fig. 16

10²

10¹

1

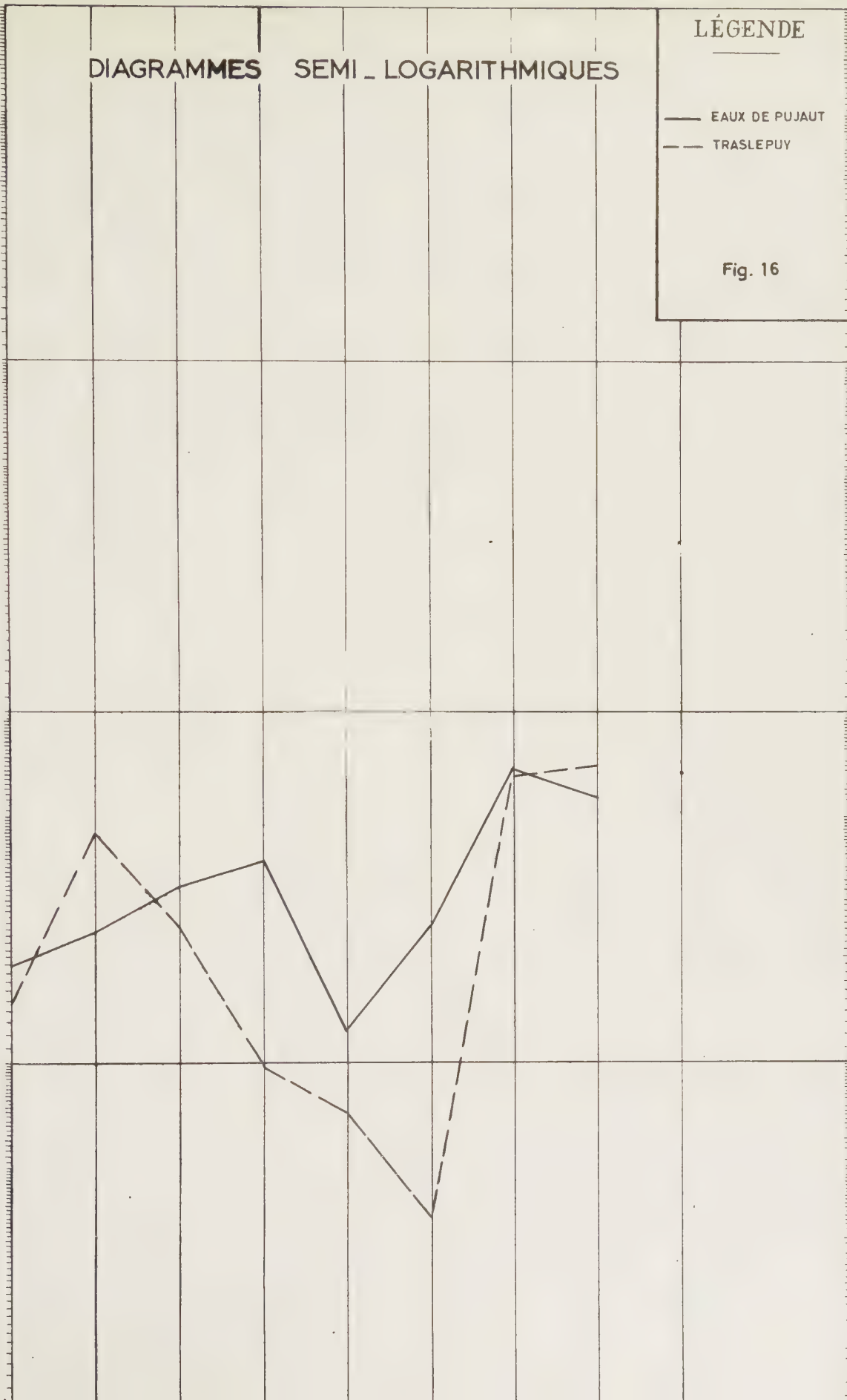
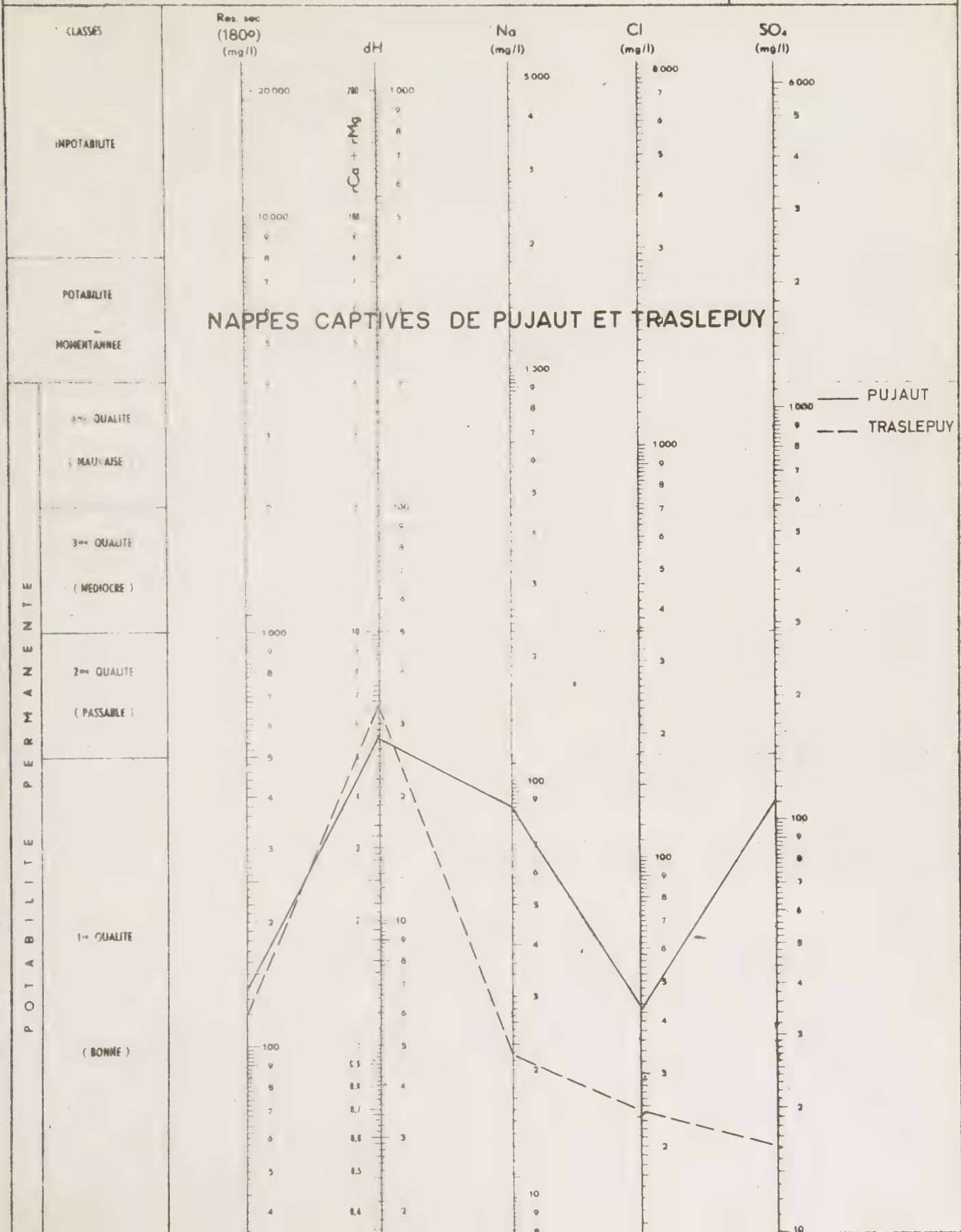


DIAGRAMME DE POTABILITE DES EAUX

(d'après la classification de H. SCHOELLER)

n°



est mauvaise. Les eaux sont longtemps en contact avec les terrains, elles se chargent par conséquent en différents sels minéraux. Ce secteur est le seul à donner une très faible résistivité.

La deuxième zone ($1000 \leq \rho < 1500$) est la plus étendue. Elle occupe presque la totalité de la nappe alluviale du Rhône, la zone de bordure N et NW de Pujaut et la totalité du secteur Traslepuv.

Pour la nappe alluviale nous pensons que cela est dû au mélange des eaux provenant des massifs calcaires, des hautes terrasses et des "roubines" qui drainent les anciens étangs et les eaux du Rhône dont la valeur de la résistivité est en moyenne de 1800 ohm/cm.

Pour la nappe phréatique de Traslepuv, ce serait le mélange des eaux des massifs calcaires et celles du plateau villafranchien de la Forêt-de-Clary et de la moyenne terrasse de Maillac.

La troisième zone ($1500 \leq \rho < 2000$). Cette zone s'étend en général aux versants des massifs calcaires (Villeneuve-les-Avignon, versant nord du massif de l'Aspre), ainsi qu'à certains endroits immédiats du cours du Rhône. Ces endroits coïncident avec les zones de la nappe alluviale du Rhône les plus alimentées par le fleuve (voir les cartes piézométriques de cette nappe). En ce qui concerne la région de la faille de Pujaut avec ($\rho > 2000$ ohm/cm), elle se limite le long de cette faille. Les eaux proviendraient du système des cassures du Massif de Villeneuve. La nature du terrain (calcaire) ne permet qu'une dissolution limitée des sels par l'apport de CO_2 d'où la résistivité assez élevée.

b) Carte des concentrations des sels.

Nous avons obtenu quatre zones :

b_1	$10 \leq c < 20$
b_2	$20 \leq c < 30$

b_3	30	$\leq c <$	40
b_4		$c >$	40

La zone b_1 occupe toute la nappe alluviale du Rhône sauf la partie est de l'Ile de la Barthélasse. Cette zone s'étend également en bordure de Pujaut et Traslepuys. La partie centrale de l'ancien étang de Pujaut n'ayant pas des points de mesure, a été laissée en blanc ce qui peut entraîner une confusion avec les zones dont la concentration totale est comprise entre 10 et 20. La zone b_1 correspond en général aux alluvions du Rhône, au Pliocène sableux et aux abords immédiats des massifs calcaires. La zone b_2 occupe la partie centrale de Traslepuys, quelques lambeaux au Sud de Pujaut ainsi que la partie est de la Barthélasse. La zone b_3 , zone de concentration comprise en 30 et 40 mé/l se trouve au Nord de l'ancien étang de Pujaut. Nous supposons que cette zone s'étendrait sur tout l'ancien étang, mais faute de mesures, nous avons jugé bon de ne pas l'extrapoler. La nature du terrain joue un rôle dans les hautes valeurs de minéralisation. (argiles).

Enfin, la zone b_4 , peu étendue, se localise au lieu dit St-Anthème, à l'Ouest de l'ancien étang de Pujaut, où la minéralisation totale atteint des valeurs de 60 mé/l.

c) Carte des teneurs en chlorures.

Nous avons distingué trois zones :

c_1	$0,5 \leq Cl \leq 1$
c_2	$1 \leq Cl < 2$
c_3	$2 \leq Cl$

c_1 est la zone la plus étendue (toute la nappe alluviale du Rhône), ce qui correspond au classement des eaux fait au début de cette étude chimique, c'est-à-dire eaux bicarbonatées calcaires magnésiennes à tendance plutôt sulfatées que chlorurées.

c_2 et c_3 se localisent aux secteurs correspondant aux anciens étangs de Traslepuy et de Pujaut. Bien entendu la concentration en Cl dans ces secteurs est élevée par rapport à celle de la nappe du Rhône, mais non prédominante comme on le penserait, sauf aux points suivants : pour Pujaut (4, 6, 48, 70, 73, 87, 93, 110, et 285) ; pour Traslepuy (153, 157, 171, 190, 191), où l'on a la formule $rCO_3H - rCl - rSO_4$. En général cette prédominance de Cl sur SO_4 entraîne celle de Na sur Mg ce qui donne la composition suivante.



Pour le secteur Pujaut, nous avons 23 % des 41 prélèvements qui donnent les eaux répondant aux formules suivantes :



Cette proportion tombe à 22 % dans le secteur de Traslepuy.

Nous pensons que cette prédominance de chlorures sur les sulfates est liée à la nature des terrains des anciens étangs, terrains marécageux encore non consolidés pouvant contenir des eaux juvéniles ou des eaux stagnantes.

Nous n'avons rencontré aucun puits donnant une eau à prédominance des chlorures sur les bicarbonates et les sulfates. L'ensemble des trois secteurs maintient l'inégalité $CO_3H > Cl$. Les eaux de la région demeurent donc bicarbonatées calciques, les sulfates et parfois les chlorures ayant tendance à devenir importants.

1) Carte en zones du rapport rSO_4/rCl .

Cette carte donne quatre zones :

$$d_1 \quad 0 < rSO_4/rCl \leq 1$$

$$d_2 \quad 1 < rSO_4/rCl \leq 2$$

$$d_3 \quad 2 < rSO_4/rCl \leq 3$$

$$d_4 \quad 3 < rSO_4/rCl \leq 5$$

La zone d_1 n'existe qu'en bordure de la faille de Pujaut au SE du secteur Pujaut. Son importance est très faible. Elle coïncide avec la zone qui serait influencée par les eaux provenant de la bordure NW du Massif de Villeneuve, drainée par la faille de Pujaut. Les eaux des calcaires sont généralement très peu chargées en SO_4 et Cl.

La zone d_2 s'étend sur la partie W de Traslepuy, sur une partie de Pujaut, faisant une trouée dans la nappe alluviale du Rhône à Sauveterre, et enfin en bordure est du Massif de Villeneuve entre le bras mort du Rhône et ce massif.

La zone d_3 occupe la partie est de Traslepuy jusqu'au Rhône, les abords immédiats au Nord du bras mort du Rhône, le Sud de l'Ile de la Barthélasse et une partie minime au Sud de Pujaut.

Enfin, la zone d_4 s'étend dans la région de Montfaucon ; au droit de Four (entre ^{ce} lieu-dit et le Rhône) ; dans la partie nord de l'Ile de la Barthélasse et au lieu-dit Pont-Martin (Sud de Pujaut).

1°/ Nappe alluviale du Rhône.

Pour cette nappe, ce rapport décroît de l'amont vers l'aval ; mais la nappe se trouve partagée en deux zones :

- La partie nord, de Montfaucon au Sud de Sauveterre, avec $d_4 > d_3 > d_2$

- La zone sud, de Four au Sud de Villeneuve avec $d_4 > d_3 > d_2$.

L'augmentation brusque de la teneur en SO_4 à Four (car la teneur en chlorure reste presque constante) semble avoir son origine dans les eaux de la "roubine" du Grès qui draine l'ancien étang du Pujaut. Cette "roubine" débouche dans la vallée du Rhône au droit de Four. Nous avons vu, dans le paragraphe consacré au classement des eaux du secteur Pujaut, qu'après avoir traversé le Pliocène marneux de l'ancien étang et la partie souterraine du parcours, à l'Est de Pujaut, creusée dans le Pliocène et dans les marnes pyriteuses helvétiques, les eaux prélevées au point "j" près de Four, montraient une teneur élevée en sulfates (4,2 mé/1 au lieu de 2 mé/1 dans le secteur de Sauveterre.)

d) Carte en zones d'indice de déséquilibre chlore-alcalin.

Pour réaliser cette carte nous avons considéré le rapport $r(\text{Cl}-\text{Na}+\text{K})$. Celui-ci nous a permis de mettre en évidence les zones à i.d négatif et positif. Nous pensons que le déséquilibre est dû généralement sur le territoire étudié, non à un apport d'eaux des roches cristallines, mais à l'échange des bases qui s'effectue aux niveaux marneux des aquifères (Pliocène argileux et Miocène marneux).

Dans l'ensemble, cet indice demeure positif; cependant nous avons défini trois zones à i.d négatif.

1^o) zone au Sud de Roquemaure : elle est à cheval sur la partie aval de la nappe phréatique de Traslepuys et sur la nappe alluviale du Rhône, du point de vue géologique, cette zone s'étend sur le Pliocène sableux et sur les alluvions fluviales du Rhône. Nous pensons qu'il y a variation de faciès dans ce secteur (apparition des argiles sodiques). L'examen sur le terrain donne l'idée d'une zone à mauvaise perméabilité car le terrain est toujours gorgé d'eau. Ce contact prolongé entre les eaux et le terrain favorise le phénomène d'échange des bases qui s'effectue en faveur des ions Na^+ de l'eau.

2^o) zone située au droit de Sauveterre. Ici encore il s'agit du phénomène d'échange des bases entre les eaux de la nappe alluviale du Rhône, et un secteur marneux de l'aquifère. L'aquifère de cette zone se rétrécit et la plupart des points d'eau se trouvent dans les marnes helvétiques de Sauveterre (voir coupe approchée des terrains M_2 P_8).

3^o) zone de Pujaut. L'ancien étang est entouré des lambeaux de zone à i.d négatif (village de Pujaut, lieux-dits St-Anthelme et Pont-Martin). Ce secteur, en particulier l'emplacement de l'ancien étang, est constitué par les argiles sodiques du Pliocène. La prédominance des alcalins sur les chlorures ne s'explique autrement que par l'échange des bases.

Conclusion.

L'étude de ces différentes cartes en zones d'isovaleurs a confirmé une fois de plus l'étroite liaison qui existe entre la composition chimique des eaux d'une nappe et la nature des terrains de leur gisement (cartes en zones d'isorésistivité, d'égale concentration, d'isochlore et de l'i.d.).

La carte en zones du rapport rSO_4/rCl nous a montré, dans la nappe alluviale du Rhône, l'une des nombreuses anomalies qui peuvent se produire au cours de l'évolution des eaux d'une nappe donnée ; ces modifications de la composition chimique sont souvent provoquées par des agents extérieurs à la nappe considérée. C'est le cas de l'augmentation brusque du rapport rSO_4/rCl dans la région de Four, anomalie signalée lors de l'examen de cette carte.

62) - Intérêt pratique de l'hydrochimie.

Nous avons pensé, après toutes les considérations théoriques que nous venons de faire sur l'hydrochimie, tirer quelques conclusions pratiques quant à la potabilité des eaux des trois unités hydrogéologiques. Nous adoptons la classification des potabilités absolues de H. SCHELLER. Cette classification est donnée dans le tableau suivant (1)

Classes des potabilités absolues	rNa	rCl	rSO ₄	dh	rCa + rMg
Eau Bonne I P.P. (2)					
Eau Passable II P.P.	5	5	3	25	5
Eau Médiocre III P.P.	10	10	6	50	10
Eau Mauvaise IV P.P.	20	20	12	100	20
Eau Mauvaise V P.M. (3)	40	40	24	200	40
Impotabilité VI	80	80	48	400	80

a) La nappe alluviale du Rhône et ses environs (zone de bordure).

Les valeurs des ions des différents sels minéraux courants contenus dans les eaux de la nappe demeurent en général dans la classe I.

(1) Nous avons exprimé la concentration des différents ions en mé/l alors que le tableau original exprime Na, Cl, SO₄ en mg/l et Ca+Mg en mé/l.

(2) P.P. potabilité permanente.

(3) P.M. potabilité momentanée.

Mais (rCa + rMg) reste supérieure à 5. Cette quantité oscille autour des valeurs 7 et 8 mé/l. Nous n'avons pas jugé nécessaire de faire une classification par rapport à une seule quantité dominante. Nous classons l'eau de la nappe dans la classe I, eau bonne à potabilité permanente, sous réserve de la présence des corps non analysés, fer, par exemple, pouvant la rendre impropre à certains usages.

Certaines zones de la nappe n'obéissent pas cependant aux normes de la classe I. Ces zones sont heureusement restreintes. Pour la classe II (avec les hautes valeurs de rSO_4 et rCa + rMg) on a: M (208, 211, 214) ; S.G. 215- S. 273- V. 132- A.B. (3, 4, 5, 6). Pour la classe III, M. (207, 212), V. 126.

Aucun prélèvement effectué sur toute l'étendue de la nappe a donné une eau complètement non potable.

En écartant les autres éléments qui peuvent rendre l'eau non potable (NO_3 , fer, bactéries etc...), et sous réserve d'une modification néfaste de la composition de l'eau, nous voyons que la nappe alluviale se situe dans les limites d'une eau passablement potable.

b) Les nappes du Secteur Pujaut. (avec les zones de bordure).

1) La nappe superficielle.

En classant les résultats des analyses d'après le tableau de classification de Schoeller ci-dessus, nous obtenons 62 % des 41 points de prélèvements qui donnent une eau bonne. (classe I) 19 % donnent une eau passable (classe II) avec une moyenne de $rSO_4 = 4$ et TH = 10 : P (22, 50-74-80-82-90-91-96) ; 12 % des points donnent une eau médiocre (classe III) : P (19-59-62-79-104) avec $SO_4 > 6$ et TH > 13. Enfin 7 % des points donnent une eau mauvaise (classe IV) : P (12-46-87) (voir l'allure de cette dernière catégorie sur la fig. 18)

Le détail des résultats de cette dernière classe est le suivant :

n° d'inventaire	rNa	rCl	rSO_4	rCa + rMg
P. 12	5,86	3,75	12,65	19,2
P. 46	13,79	10,9	12,3	21
P. 87	24,1	19,2	25,10	28,2

Les points d'eau donnant les eaux passables, médiocres ou mauvaises se situent soit à proximité immédiate ou dans les terrains mêmes de l'ancien étang de Pujaut (mélange d'alluvions et des argiles du Pliocène à i.d négatif) alors que les points donnant une bonne eau se localisent soit sur le Pliocène sableux ou sur les abords immédiats des massifs calcaires.

2) La nappe profonde.

Nous n'avons qu'un seul point bien connu de cette nappe, c'est Ps₁, situé à l'aérodrome du Pujaut. Dans la classification ci-dessus Ps₁ donne les valeurs suivantes :

rNa	rCl	rSO ₄	rCa	rMg	(1)
3,79	1,7	2,8	2,1	3,3	

Cette eau convient à la classe 1, mais dans la région on la considère comme impropre à la consommation, paraît-il, elle a mauvais goût et demeure tiède (t = 16,5°).

Actuellement le village de Pujaut reçoit l'eau courante de la nappe alluviale du Rhône. Si un jour pour une raison quelconque, de nouvelles ressources étaient nécessaires, il serait préférable de rechercher de l'eau non pas dans la zone de l'ancien étang ou de ces environs immédiats (argiles et alluvions des marécages) mais dans la zone de bordure, au Sud de l'ancien étang, à proximité du massif calcaire, où la potabilité des eaux est passablement bonne.

c) Les nappes du Secteur Traslepuu.

1) nappe superficielle.

(1) Valeurs tirées de l'analyse faite en janvier 1965.

L'eau, dans cette nappe, est généralement bonne. 70 % des 29 points de prélèvement se classent dans la zone I de la classification de H.SCHOELLER et les 30 % restant entrent dans les zones II et III. C'est le cas des points 7(172-174-175-176-186-195-283), avec $TH > 10$ et une valeur moyenne de $rSO_4 = 5$. Les zones II et III correspondent à peu près à la partie marécageuse de l'ancien étang.

2°) Nappe captive profonde.

Nous avons vu plus haut les résultats d'analyse des eaux de la nappe captive de Traslepu. C'est une très bonne eau du point de vue de la potabilité dans la classification de Schoeller. (Voir fig. XVII)

Remarque : La nappe superficielle de Traslepu peut facilement être sujette à une pollution par des infiltrations de surface car dans certains points elle reste à peine à deux mètres de profondeur sous le sol. On fait une utilisation massive des engrais naturels et chimiques sur toute l'étendue de l'ancien étang, ainsi que l'élevage de la volaille. Nous souhaitons pour l'intérêt des populations habitant ce secteur, qu'on entreprenne une étude systématique au niveau de la nappe captive dont l'existence est certaine, afin d'évaluer ses capacités pour un éventuel captage car dans ce niveau (90 m sous le sol) les risques de contamination bactériologique diminuent beaucoup.

7°) - Conclusions sur l'étude chimique.

1) A la lumière de cette étude nous dégageons les points suivants :

a) L'influence du terrain aquifère est généralement prépondérante, avec effet parfois sensible du substratum argileux sur la composition chimique de l'eau.

b) Les argiles bleues du Pliocène sont très sodiques. Ceci a été démontré par le phénomène d'échange des bases au niveau de ces argiles (Pujaut-Traslepu y).

2) La localisation des zones dans la nappe où l'eau est médiocre ou mauvaise du point de vue de la potabilité (nappes superficielles de Pujaut et de Traslepu y en particulier).

V. CONCLUSION

Conséquences pratiques de l'étude chimique.

Il nous apparaît nécessaire d'exposer à la fin de ce chapitre sur l'hydrochimie le problème particulier de cette région étudiée, surtout dans la zone de Roquemaure. Il s'agit du problème de la charge en fer de l'eau.

Les eaux d'alimentation de la ville de Roquemaure sont ferrugineuses; on retrouve ces mêmes eaux dans le nouveau puits de Villeneuve-les-Avignon bien qu'à un degré moindre. La position de ces deux points d'eau semble être à l'origine de ce phénomène ou tout au moins l'aggrave. Le puits de Roquemaure est situé aux abords immédiats du champ d'épandage d'une distillerie et celui de Villeneuve dans une "lône". Une lône est un ancien lit du Rhône comblé par différents matériaux (troncs d'arbres, feuilles, herbes, vases, graviers etc...) ; il est facile d'observer la formation de ces "lônes" actuellement.

Aucun moyen matériel n'ayant été mis à ma disposition, je n'ai pas pu m'en occuper comme je l'aurais désiré. Par ailleurs un hydrogéologue du Génie Rural a été chargé en fin de compte de l'étude.

Pour Roquemaure, le Génie Rural a été amené à faire un nouveau forage. Ce dernier ne semble pas pour autant résoudre le problème, Il se trouve à moins de 800 m au Nord du premier puits, l'influence d'un pompage prolongé dans le forage atteindrait facilement les abords immédiats du premier puits ; d'autre part, les caractéristiques hydrogéologiques calculées à partir d'un essai de pompage dans le forage ne sont pas très bonnes (voir l'essai de débit de Roquemaure).

Pour Villeneuve, on a été amené à réduire de moitié le débit prélevé dans la nappe ce qui a entraîné une baisse de la teneur en fer dans l'eau, ramenant cette teneur aux limites exigées pour l'alimentation humaine. Mais nous pensons que cette solution n'est que palliative car, étant

donné l'augmentation des concentrations urbaines actuelles et d'éventuelles implantations d'industries, on sera ramené un jour à augmenter le débit du puits entraînant automatiquement une élévation de la teneur en fer hors des limites exigées, à moins de contourner la difficulté par la multiplication des puits de pompage.

La proposition que nous formulons intéresse surtout la région de Roquemaure. Nous suggérons une étude systématique des réserves en eau de la dépression de Traslepu. Lors du développement des hypothèses sur la formation de cette dépression dans le chapitre traitant les faciès géologiques nous avons parlé des possibilités hydrogéologiques de cette zone. Actuellement, ces hypothèses sont confirmées en partie par les forages des particuliers (nappe captive du niveau 30 m. forage situé à proximité du puits R.172 et nappe captive du niveau 90 m près du puits 176). Il y a donc plusieurs niveaux aquifères dans cette dépression. Mais pour les atteindre facilement, nous pensons qu'il faut implanter les forages aux limites est et ouest de la dépression et peut-être aussi à la limite nord (pente douce et limite du Pliocène sableux) alors que la limite sud semble être une zone de falaise abrupte comblée par des sédiments argileux. La recharge de ces niveaux aquifères est assurée par la région de la Forêt-de-Clary à l'Ouest et le plateau de Maillac à l'Est (Villafranchien reposant sur le Pliocène sableux) ainsi que par la face sud de la Barre de Roquemaure.

CHAPITRE IV

Considérations sur le problème karstique de la région étudiée.

Nous nous bornerons à donner quelques renseignements généraux concernant ce karst, car à l'intérieur de la zone intéressant notre travail, le calcaire ne couvre pas une grande étendue ; les sources provenant des calcaires sont rares dans notre secteur. Cependant dans le prolongement des massifs calcaires hors du territoire étudié, de nombreuses sources apparaissent aux abords immédiats de ces massifs. Pour ce chapitre, nous adopterons le schéma suivant :

- 1/ - La morphologie des massifs calcaires, nature des calcaires, et les fracturations qui ont affecté ces massifs.
- 2/ - Sources en bordure de ces massifs.
- 3/ - Mise en évidence des apports karstiques dans les différentes nappes étudiées plus haut par l'examen du chimisme des eaux de bordure (en particulier la résistivité).
- 4/ - Calcul des apports pluviométriques dans le karst (partie du Massif de Villeneuve incluse dans notre périmètre de travail).
- 5/ - Alimentation des nappes de Pujaut, Traslepuys et la nappe alluviale du Rhône par le karst présumé - Evaluation des apports karstiques au contact des nappes.
- 6/ - Conclusion.

I - MORPHOLOGIE DES MASSIFS CALCAIRES.

C'est surtout le Massif de Villeneuve-les-Avignon qui présente une morphologie karstique. Cette morphologie se dégage dans l'examen des photographies aériennes. Ce massif montre une série de petites dépressions (dolines), désignées par le symbole E_r sur la carte des faciès. Nous avons dé-

crit ces dépressions dans la partie géologique de l'étude. Ce sont des zones de cultures au milieu des calcaires couverts de garrigues. La partie du Massif de Villeneuve située en dehors des limites de notre territoire de travail montre aussi ces dolines. Nous pensons que la karstification est développée en profondeur, car on ne remarque pas des traces d'écoulement superficiel proprement dit. L'eau de pluie en dehors de la portion évapotranspirée qui doit être faible par rapport à ce qui se passe dans la plaine alluviale, s'y infiltre toute. On trouve dans ce massif du calcaire appartenant au Néocomien ; on peut estimer que les 2/3 de la surface sont couverts par des marno-calcaires durs du Barrémien inférieur et le 1/3 restant, par des calcaires cristallins, compacts et massifs. Le Massif est sillonné par de nombreuses failles (voir la carte des faciès). Nous supposons que cette fracturation est développée en profondeur car les calcaires formant le substratum de la nappe alluviale du Rhône (voir Pl.XIII R₁ P₂) montrent un système développé de fissuration mise en évidence par les sondages. Cette fracturation du Massif ainsi que la présence des dolines nous incitent à parler de la karstification du Massif de Villeneuve.

En ce qui concerne les Massifs calcaires de l'Aspre et de St-Génies l'extension de ces considérations sera très limitée par manque des preuves outre que la fracturation et surtout par la faible étendue qu'ils couvrent. Cependant, la face nord de la Barre de Roquemaure montre les pseudo-grottes. Mais grâce à la carte piézométrique du mois d'août 1965, une alimentation des nappes de Traslepuys et de Pujaut par ces massifs peut être tenue certaine.

2 - SOURCES EN BORDURE DES MASSIFS.

Sur notre territoire, les sources issues des massifs calcaires sont rares (source portant le n° P.s₂ à la sortie de Pujaut, issue probablement du Massif de Villeneuve, et le petit ruisseau au Nord de la dépres-

sien de Traslepuy, provenant de la Barre de Roquemaure). La source Pujaut donne à une altitude de 40 m (d'après la carte en courbes de niveau au 1/20 000), a un débit de l'ordre 0,066 l/s soit $5,7 \text{ m}^3/\text{jour}$). Mais sur le prolongement sud du Massif de Villeneuve, on rencontre de nombreuses sources à débit important de l'ordre d'une dizaine de litres/secondes. C'est le cas de la source des Piè-vres ; la source du lavoir, toutes situées au village "les Angies" à 20 m environ d'altitude, au SW de Villeneuve-les-Avignon. Plus au Sud, aux environs immédiats de la ferme dite "la Choisisity" on dénombre deux importantes sources captées à une altitude de 50 m.

Dans le prolongement ouest du Massif de l'Aspre, près de Montézargues, au bord de la R.N 576, de nombreuses petites sources apparaissent pendant une grande partie de l'année, à une altitude de 70 m. Ces sources ont donné à cette région le nom "Les Fontaines". L'apparition de ces sources se produit au contact du Néocomien formant le Massif de Rochefort avec le Pliocène argileux.

3 - CHIMISME DES EAUX EN BORDURE DES MASSIFS.

En nous aidant de la carte de résistivité, nous essayons de mettre en évidence les apports d'eau des massifs calcaires dans les nappes phréatiques étudiées. En général, les eaux issues de ces roches ont une valeur de résistivité élevée. Ces eaux n'ont ni le temps de contact assez long avec les roches ni le CO_2 nécessaire pour dissoudre la plupart des sels qui s'y trouvent.

La bordure sud et sud-est de l'étang de Pujaut donne une résistivité supérieure à 1500 ohm.cm, et même des zones de résistivité supérieure à 2000 ohm.cm. Dans la bordure est du Massif de Villeneuve, on retrouve cette bande de résistivité supérieure à 1500 ohm.cm. Presque toute la bordure nord du Massif de l'Aspre, en relation avec la dépression de Traslepuy, donne une résistivité supérieure à 1500 ohm.cm.

Toutes ces zones que nous venons de citer sont suivies par des zones à résistivité plus faible. Ce phénomène est le résultat des apports des eaux issues des massifs calcaires dans les nappes artésiennes. La minéralisation totale est assez faible dans les eaux prélevées au nord des massifs calcaires avec 10 méq/l comme valeur moyenne, par exemple, dans les puits P₁, P₂₆, P₃₀, P₄₃, etc... Les autres données de la chimie des eaux, ne nous permettent pas d'établir une relation entre les massifs calcaires et les nappes avoisinantes.

4 - CALCUL DES APPORTS PLYVIONETRIQUES DANS LE CANTON

(partie du Massif de Villeneuve incluse dans notre
territoire de travail)

Pour effectuer ce travail, nous nous basons sur le fait qu'il n'y a pas d'exutoires superficiels dans cette partie du massif de Villeneuve. Sauf la fraction évapotranspirée, nous considérons que l'eau de pluie s'infiltré totalement dans la surface calcaire soit par l'intermédiaire des dolines, soit par le système de fracturation très développé sur le massif. Nous avons trouvé la fraction évapotranspirée égale à 498 mm/an sur tout le territoire, par l'application de la formule de L. Turc. Mais ceci est vrai dans la partie basse de la région, sur les étendues alluvionnaires en particulier où l'évapotranspiration est importante grâce à la capillarité du sol et la transpiration de la couverture végétale qui puise l'eau à moins d'un mètre dans le sol. Sur les massifs calcaires, le phénomène de capillarité est absent ; les pertes par transpiration des végétaux sont faibles car les plantes qui poussent sur ces surfaces sont dotées de longues racines qui leur permettent de remonter l'eau nécessaire à leur survie. Par conséquent, nous prendrons la fraction de la pluie qui s'infiltré supérieure à celle calculée dans le chapitre de la pluviométrie. Nous l'estimons égale au 1/3 du module annuel soit environ 200 mm (pour $\bar{H} = 597,4$ mm).

Par planimétrie, nous avons trouvé la superficie totale de

la partie du Massif de Villeneuve située dans notre territoire égale à 16.10^6 m^2 .
Le volume d'eau infiltrée dans le massif calcaire pendant une année est égale à

$$V = s \times I$$

V en m^3/an , s en m^2 et I (infiltration) en m

$$V = 16.10^6 \text{ m}^2 \times 2.10^{-1} \text{ m}$$

$$V = 32.10^5 \text{ m}^3/\text{an}$$

En supposant ce volume disponible à l'exploitation, on pourrait soutirer un volume journalier de l'ordre $9.10^3 \text{ m}^3/\text{j}$ ce qui correspond à un débit

$$Q = 100 \text{ l/s}$$

5) - ALIMENTATION DES NAPPES DE PUJAUT-TRASLEPUY ET LA NAPPE ALLUVIALE DU RHONE PAR LE KARST PRESUME.

Nous avons essayé plus haut de démontrer par la chimie des eaux que les massifs calcaires alimentent souterrainement les nappes attenantes.

Cette hypothèse ne suffit pas car les variations de la composition chimique des eaux sont très complexes à expliquer. Pour bien élucider ce phénomène des apports karstiques aux nappes, nous allons nous servir dans ce paragraphe de la carte piézométrique du mois d'Août de tout le territoire étudié.

L'allure des courbes piézométriques au voisinage des massifs montre une alimentation par les calcaires ; les courbes sont tangentes aux massifs. Nous avons choisi la carte du mois d'Août pour deux raisons :

- c'est une carte qui donne l'image des variations du niveau piézométrique de

l'ensemble de la région étudiée,

- l'été a été très sec, entraînant une baisse appréciable du niveau piézométrique des nappes, mettant en évidence les apports karstiques dans les nappes.

EVALUATION DES APPORTS KARSTIQUES.

Les calculs portent sur le débit des nappes alluviales au contact des massifs calcaires à la fin de la période du tarissement, moment où les réserves des nappes atteignent leur point le plus bas (avec $h=1,5m$ dans la nappe alluviale du Rhône.)

Les résultats obtenus par cette évaluation donne simplement une idée de ce qui peut se passer à la limite des calcaires et les alluvions.

1) - Barre de Roquemaure.

Cette barre est formée en grande partie du Barrémien supérieur à faciès urgonien, calcaire, massif et cristallin. Ce massif, par sa nature calcaire, l'importante faille qui le limite au Nord et la présence d'excavations montrant l'existence de la karstification à ce niveau, peut être considéré comme karstifié.

Pour le calcul des apports de la face nord du Massif (St-Génies - Montfaucon), nous avons déterminé dans la nappe alluviale un gradient hydraulique moyen de l'ordre de 10 pour 1000 ; d'après l'essai de débit au forage du Génie Rural, la transmissivité $T = 5.10^{-3} m^2/s$, la longueur du front du Massif L est égale sur la carte au 1/20 000^e à 23 cm soit 4600 m.

Le débit Q provenant de ce massif calcaire est donné par la formule :

$$Q = TIL$$

$$Q = 5.10^{-3} \times 10^{-2} \times 4,6.10^3$$

$$Q = 0,23 m^3/s.$$

soit pour 24 h

$$Q = 0,23 \times 86.400 = 2.10^4 \text{ m}^3/\text{jour}$$

Pour la face sud de ce massif en relation avec la dépression de Traslepuy, la carte piézométrique de la nappe alluviale de Traslepuy nous montre un important apport d'eau du Massif dans la dépression mais le calcul du débit cédé par cette face sud s'avère impossible par manque d'essais de débit.

2) - Massif de Villeneuve-les-Avignon.

A - Face nord (en relation avec la dépression de Pujaut)

L'essai de pompage effectué au puits P.30 dans la nappe phréatique a donné une transmissivité $T = 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ - Nous avons estimé le gradient hydraulique $i = 20/1000$ aux environs immédiats du Massif. Le front L du Massif s'étend sur 30 cm (carte au 1/20 000^e) soit 6 000 m. Le débit Q cédé par le massif à la dépression est donné par la même formule que ci-dessus : $Q = TIL$

$$Q = 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

soit pour 24 h

$$Q = 0,12 \times 86400 = 1,04.10^4 \text{ m}^3/\text{j}$$

B - Face est (en relation avec la nappe alluviale du Rhône).

Nous avons supposé que la valeur de $T = 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ calculée à partir de l'essai de débit de Villeneuve-les-Avignon dans la nappe alluviale était à peu près identique dans toute la partie de la nappe située au Sud de Four (relative homogénéité des alluvions mise en évidence par les coupes des sondages); le gradient hydraulique i moyen dans cette partie de la nappe est de l'ordre de

pour 1 000 (voir chap. traitant l'hydraulique souterraine). Le front L du massif considéré s'étend environ sur 3 000 m.

$$Q = TIL$$

$$Q = 10^{-1} \times 10^{-3} \times 3 \cdot 10^3$$

$$Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

soit pour 24 h

$$Q = 0,3 \times 86400 = 2,6 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{jours}$$

6°) CONCLUSION

On voit qu'il existe une karstification du Massif de Villeneuve par les présences des dolines, d'une fracturation importante, de l'absence d'exutoires et de ruissellement superficiel. Le volume d'eau qui s'infiltré chaque année dans ce massif correspond à un débit $Q = 100 \text{ l/s}$. Que devient cette eau ? Nous pensons qu'elle alimente les nappes alluviales attenantes. La chimie des eaux des nappes alluviales et l'allure des courbes piézométriques aux abords immédiats du massif plaident dans ce sens.

Mais une partie de cette eau pourrait aussi reconstituer les réserves d'un karst noyé probable. Ce problème reste à élucider.

Les résultats obtenus par les calculs doivent être considérés avec toute réserve. Il manque très souvent les précisions sur les données de base et les phénomènes que nous avons voulu traduire mathématiquement sont d'abord naturels et par conséquent très complexes.

L'étude du karst du Massif de Villeneuve n'aurait d'intérêt que si l'on envisage de travailler sur toute l'étendue du Massif. Cette étude permettrait d'évaluer avec assez de précisions les pertes du karst par les sources et de démontrer qu'il existe un karst noyé.

Conclusions Générales.

Dans cet ouvrage, nous n'avons pas la prétention de donner une étude complète du complexe problème d'hydrogéologie de la vallée du Rhône. Cependant nous nous sommes efforcés à démêler les inconnues et à tracer des grandes lignes qui permettront aux futurs chercheurs dans cette région, d'économiser un temps appréciable, facteur très important pour les Etudiants qui sont généralement limités par leurs maigres ressources financières.

Le cadre de notre étude correspond à la partie de la plaine alluviale du Rhône comprise entre Montfaucon et Villeneuve-les-Avignon, ainsi que les secteurs des anciens étangs de Pujaut et de Traslepuu. Cette région est soumise toute l'année à l'influence du Mistral.

1^o) GEOLOGIE : Nous avons procédé à un levé de faciès assez détaillé et assez précis dans l'optique de la géologie appliquée. Le levé et la description des faciès nous ont permis de mettre en évidence les secteurs d'alimentation des nappes souterraines voisines. C'est le cas des plateaux villafranchiens d'Aguillon, de la Forêt-de-Clary, et de Montézargues ; des terrasses moyennes du plateau de Maillac et du Mont Pégueirol ; des zones d'éboulis de pente etc. Par la tectonique et surtout par la mise en évidence des zones du Quarternaire indifférencié à l'intérieur des massifs calcaires du Néocomien, nous avons apporté une preuve de l'existence probable d'un karst dans ces massifs.

Par l'étude des sondages et forages qui montrent les variations des faciès en profondeur, nous sommes arrivés, à l'aide des coupes approchées des terrains, à déterminer, en particulier, la puissance de l'aquifère dans la nappe alluviale du Rhône (15 m) entre Roquemaure et Villeneuve-les-Avignon. Nous avons utilisé la connaissance du substratum par les sondages pour interpréter certaines anomalies en hydrochimie (échange de bases par exemple).

2^e) HYDROLOGIE. L'étude de la pluviométrie basée sur la Statistique Mathématique nous a permis de mieux cerner la hauteur pluviométrique annuelle qu'on peut espérer recevoir sur toute l'étendue du territoire étudié. Il en est de même de la valeur des rapports calculés qui montrent le caractère non uniforme des précipitations pluviales. La connaissance de toutes ces données permettra de prévoir les variations possibles des précipitations pluviométriques annuelles.

3^e) HYDRAULIQUE SOUTERRAINE.

A - Piézométrie.

Par l'étude des cartes piézométriques traduisant les variations du niveau des nappes phréatiques de la région étudiée, nous avons confirmé ce qui a été dit dans la géologie concernant les zones d'alimentation des nappes. Nous avons mis ces zones en évidence grâce à l'allure des hydro-isohypses. Dans la nappe alluviale du Rhône nous avons démontré l'étroite liaison qui existe entre le fleuve et cette nappe. A certaines périodes de l'année, le Rhône draine les eaux de la nappe, et en d'autres, le fleuve alimente la nappe. La comparaison de la surface piézométrique à deux périodes de l'année relatives aux hautes et aux basses eaux nous a permis de montrer :

a) Le comportement particulier des îles.

b) Le phénomène d'inversion du sens d'écoulement des eaux, malgré l'allure topographique des terrains, dans le secteur de Villeneuve-les-Avignon.

B - Essais de débit.

Nous avons dégagé, grâce à la connaissance des caractéristiques de l'aquifère résultant de ces essais, des zones des nappes alluviales favorables à l'exploitation.

4^e) HYDROCHIMIE.

Ce domaine étant encore très mal connu, nous nous sommes limités aux interprétations qui nous semblaient certaines. Nous avons dégagé les

grandes familles d'eau pour l'ensemble de la région étudiée.

Nous avons surtout essayé de montrer l'intérêt de l'hydrochimie dans la vie pratique. C'est pourquoi nous nous sommes attachés à examiner la potabilité des eaux de chaque unité hydrogéologique. De cet essai, il résulte que :

1°) L'eau de la nappe alluviale du Rhône est généralement bonne (sous réserve des corps non déterminés par le laboratoire d'hydrochimie de l'Institut).

2°) L'eau de la nappe phréatique de Traslepuys est bonne, mais cette nappe peut facilement être polluée car elle est très peu profonde ; l'utilisation des engrais chimiques et la pratique de l'élevage pourraient constituer une source de contamination des eaux. (Plusieurs cas de pollution bactériologique ont été signalés dans les puits R.172- R.176- R.189). Mais le secteur Traslepuys a d'autres niveaux aquifères profonds, en particulier le niveau situé entre 80 et 90 m de profondeur dont l'eau est dans les normes de la bonne potabilité.

A cette profondeur de 90 m et compte tenu de l'épaisseur des argiles et des sables argileux qui isolent la nappe de la surface du sol, nous pensons que la pollution de cette nappe n'est pas possible.

3°) Pour Pujaut, la potabilité des eaux de la nappe phréatique est passable en particulier dans le secteur sud de la nappe. Le restant de la nappe donne par endroits une eau médiocre et quelquefois mauvaise.

5°) CONSIDERATIONS SUR LE KARST DU MASSIF DE VILLENEUVE.

Nous n'avons donné que des généralités sur ce problème car ce massif est très peu étendu sur notre territoire. Il serait souhaitable qu'un travail soit entrepris pour inventorier tous les indices de karstification du massif, conduisant à la meilleure connaissance de ce karst.

BIBLIOGRAPHIE

=====

- AVIAS J. (1963 - 1964) - Cours professés au 3^e cycle d'Hydrogéologie et de Géologie appliquée aux travaux publics.
- BERNIER J. (1963) - Cours sur les Applications des Méthodes Statistiques aux Travaux de Recherche Expérimentale C.R.E. Chatou (E.D.F).
- BONIFAY E. (1960) - Thèse : Recherche sur les terrains Quaternaires dans le Sud-Est de la France. Université de Paris.
- BONNET A. (1963) - Nouvel essai de corrélation des terrasses rhodaniennes. Bull - Société Géologique de France - n° 4 - Tome V - 7^e Série pp. (543-553).
- BONTE A. (1953) - Introduction à la lecture des cartes géologiques - Masson - Paris.
- BOURDIER F. (1961) - Thèse : Le Bassin du Rhône au Quaternaire - Géologie et Préhistoire - Tomes I et II - Ed. C.N.R.S - Paris.
- B.R.G.M (?) - Méthodes d'Etude et de Recherche des Nappes aquifères-Publida - Paris.
- CAMBEFORT H. (1955) - Forages et Sondages - Eyrolles - Paris.
- JOLEAUD L. (1905 - 1906) - Description des Terrains Néogènes de la plaine du Comtat et de ses Abords - (Fascicule I) - Avignon -. (1912) - Fascicule II - Montpellier -.

- CONQUY Y. et (1962) - Rapport Géologique - n° 517- S.N.P.A.
GUIRAND P. Pau -
- DERRUAU M. (1962) - Précis de Géomorphologie - Masson et Cie-
Paris -
- DE GELIS E. (1956) - Eléments d'Hydraulique Souterraine - Notes
et Mémoire n° 136 - Centre des études hydro-
géologiques de Rabat.
- DUMAS E. (1876) - Statistique géologique, minéralogique, métal-
lurgique et paléontologique du Département
du Gard - 1ere et 2ème parties - Paris-Nîmes.
- FAVERGE J.M. (1962) - Méthodes Statistiques en Psychologie Appli-
quée - Tome I - P-U-F- Paris -
- FOURMALIER P. (1944) - Principes de Géologie - Tomes I et II -
Masson - Paris -
(1958) - Introduction à l'étude des eaux destinées à
l'alimentation humaine et à l'industrie -
Masson - Paris - Liège -
- GIGNOUX M. (1943) - Géologie stratigraphique - Masson - Paris -
- GIGNOUX M. et (1955) - Géologie des Barrages et des Aménagements
BARBIER R. hydrauliques - Masson et Cie - Paris -
- GOGUEL J. (1953) - Traité de Tectonique - Masson- Paris-
- JAQUET M. (1963-1964) - Conférences sur l'Hydrologie -(3^e cycle
d'hydro-)

- JUNG J. (1958) - Précis de pétrographie - Masson et Cie - Paris-
- LANCASTRE A. (1961) - Manuel d'hydraulique Générale - Eyrolles - Paris.
- LEFEBVRE A. (1961-1962) - Cours de Statistiques Mathématiques, professés en 2^e année de l'Ecole Nationale Technique des Mines d'ALES.
- MARGAT J. et (1964) - Manuel pratique d'essai de pompage et Notions
TRUPIN C. Générales sur l'hydraulique des puits - B.R.G.M.
Paris -
- MAYER A. (1959) - Précis de mécanique des sols - Armand Colin -
Paris -
- NEKRASSOV B. (?) - Cours d'Hydraulique - Ed. en Langues Etrangères
Moscou -
- PLEGAT R. (1963-1964) - Cours d'hydrodynamique - Professés au 3^e cy-
cle d'Hydrogéologie -
- REMIENIERAS G. (1959) - Eléments d'Hydrologie Appliquée - Armand Colin-
Paris -
- ROCHE M. (1963) - Hydrologie de Surface - Gauthier - Villars -
Paris -
- ROMAN P et (1929) - Carte géologique d'Avignon 1/80.000 (2^e édition)
DE BRUN P.
- SALMERON E.T. (1960) - Anomalies des courbes débit/rabattement et
rabattement/temps-Etude et Application Pratiques.
Madrid -

- SCHOELLER H. (1959) - Hydrologie des régions arides - Progrès récents - U.N.E.S.C.O.
- (1962) - Les Eaux Souterraines - Masson - Paris -
- SCHOELLER M. (1964) - La Concentration des eaux souterraines en chlore - Bull. B.R.G.M. n° 2 pp.51 à 90 - Paris -
- TERZAGHI K. et (1961) - Mécanique des sols appliquée - Dunod -
PECK R.B. Paris -
- TODD D. (1959) - Ground Water Hydrology - John Wiley and
Sons - New-York -
- U.N.E.S.C.O. (1953) - Actes du Colloque d'Ankara sur l'hydro-
logie de la zone aride -

REFERENCE AUX ARCHIVES.

- Compagnie Nationale du Rhône en Avignon.
- Génie Rural de Nîmes.
- Météorologie Nationale (Nîmes).
- Ponts et Chaussées du Gard.
- Société météorologique Gard - Cévennes - Alès -
- Société Nationale des Pétroles d'Aquitaines - Pau -
- Société Ferro-Alliage d'Ardoise - Gard -

APPENDICE

- Tableaux des Analyses chimiques
- Tableaux des Mesures piézométriques
 - Basses eaux 1964
 - Hautes eaux 1965
 - Mois d'août 1965
- Fig. 11 - Diagrammes semi-logarithmiques montrant l'évolution N-S des eaux de la nappe alluviale du Rhône
- Fig. 14 - Allure générale des eaux du secteur de Traslepuys
- Fig. 18 - Diagramme de potabilité des eaux du secteur Pujaut
- Pl. XV - Coupes des sondages A.C. Nîmes.

n° d'Invent.	n° d'analyse	rCa	rMg	rNa+K	rCl	rSO ₄	rCO ₃ H	rH	rSO ₄ /Cl	rMg/Ca	$\frac{rCl-Na+K}{Cl}$	concentrat.
P.26	4864	3,9	1	0,24	0,45	0,76	3,75	4,9	1,69	0,25	+ 0,47	10,10
P.19	4865	6,1	7,8	2,69	1,9	6,72	8,9	13,9	3,5	1,27	- 0,42	34,11
P.30	4866	3,8	1,2	0,17	0,35	0,34	4,2	5	0,97	0,32	+ 0,51	10,06
P.22	4867	6,8	3,9	1,5	1,3	4,66	6,5	10,7	3,6	0,57	- 0,15	24,66
F.39	4868	4,6	4,3	0,40	0,5	1,53	7,65	8,9	3,06	0,94	+ 0,20	18,98
P.6	4869	3,3	0,8	0,40	0,4	0,35	3,15	4,1	0,88	0,23	0	8,60
P.9	4870	5	3,9	0,77	1	1,97	7,05	8,9	1,97	0,78	+ 0,23	19,69
P.18	4871	3,5	0,8	0,66	0,5	1,09	3,2	4,3	2,2	0,23	- 0,32	9,75
P.48	4896	6,3	0,6	0,71	0,85	0,35	5,9	6,9	0,41	0,09	+ 0,16	14,71
T.56	4900	6,4	0,5	0,29	1,15	1,25	4,85	6,9	1,08	0,07	+ 0,75	14,44
P.69	4884	9,4	2,1	1,3	1,85	2,70	8,65	11,5	1,46	0,22	+ 0,29	26,00
P.66	4886	7,1	0,8	0,35	0,75	1,42	6,25	7,9	1,90	0,11	+ 0,33	14,67
P.62	4888	7,6	5,9	3,19	2,4	6,06	9	13,5	2,53	0,78	- 0,33	34,15
P.65	4889	7,2	0,6	0,49	0,95	2,00	5,35	7,8	2,1	0,08	+ 0,48	16,59
P.59	4890	8,2	3,1	11,06	3,85	5,32	11	11,3	1,38	0,38	- 1,87	44,53
P.46	4891	12,4	8,6	13,79	10,9	12,3	8,45	21	1,13	0,69	- 0,26	66,44
P.50	4901	7,9	2,8	2,00	2,2	5,58	5,9	10,7	2,5	0,35	+ 0,09	16,38
P.1	4941	3,8	0,6	0,56	0,45	1,05	3,45	4,4	2,34	0,15	- 0,24	9,91
P.285	4938	3,3	1,4	6,25	3,0	2,51	3,75	4,7	0,84	0,43	- 1,01	20,21
M.212	4892	12,3	2,3	4,47	3,7	6,55	3,35	14,6	1,77	0,18	- 0,20	31,67
M.211	4893	7,6	1,2	0,49	0,9	3,64	4,25	8,8	4,05	0,15	+ 0,45	18,08
M.207	4895	7,5	1,7	1,11	1,05	3,42	6,35	9,2	3,26	0,23	- 0,06	21,83
M.208	4882	6,9	1,4	0,7	0,85	3,12	4,15	8,3	3,7	0,20	+ 0,13	17,12
M.214	4883	7,3	0,9	0,51	0,95	3,42	4,45	8,2	3,6	0,12	+ 0,46	17,53
R.203	4885	7,1	1,1	0,63	0,8	2,42	5,1	8,2	3,03	0,15	+ 0,21	17,15

n° d'Invent.	n° d'analys.	rCa	rMg	(Na+K)	rCl	rSO ₄	rCO ₃ H	TH	rS ₂ /Cl	rMg/Ca	$\frac{rCl-(Na+K)}{Cl}$	Concentration
P.87	4664	13,6	14,6	24,1	19,2	25,1	9,9	28,2	1,31	1,07	+ 0,25	106,5
F.74	4665	3	3,3	8,42	4,9	5,01	6,65	6,6	1,02	1,1	- 0,72	31,48
P.80	4666	7,4	2,8	3,23	2,65	3,42	8,85	10,2	1,29	0,38	- 0,22	28,35
P.82	4667	7,8	1,7	1,92	1,95	3,4	6,5	9,5	1,74	0,22	+ 0,01	23,27
P.S1	4668	2,1	3,3	3,79	1,7	2,8	6,85	5,4	1,64	1,62	- 1,12	19,54
P.79	4669	11,1	3,6	6,5	5,8	6,6	9,15	14,6	1,13	0,33	- 0,12	42,65
P.70	4670	5,5	0,8	0,66	1,05	0,51	6,45	6,3	0,48	0,14	+ 0,37	14,97
P.S3	4656	6,8	1	0,36	0,8	0,94	6,75	7,8	1,17	0,14	+ 0,55	16,65
P.110	4658	6,9	0,5	0,15	0,9	0,7	6,95	7,4	0,78	0,072	+ 0,83	15,10
P.104	4659	10,7	2,6	1,22	1,85	6,45	7,55	13,3	3,5	0,24	+ 0,40	30,37
P.96	4660	7,8	2,4	2,69	3,2	3,32	6,6	10,2	1,04	0,30	+ 0,16	26,01
P.S4	4848	4,8	1	0,24	0,5	1,11	4,35	5,8	2,2	0,21	+ 0,52	12,00
P.10	4862	5,7	3,7	1,26	1,5	2,83	7	9,4	1,89	0,65	+ 0,16	21,99
P.12	4863	8,2	11	5,86	5,75	12,65	9,35	19,2	2,2	1,34	- 0,01	52,81
P.73	4671	5,6	0,3	0,19	0,8	0,41	6,55	6,9	0,51	0,05	+ 0,76	14,85
P.a	4672	7,3	2,8	1,28	1,7	3,46	7,1	10,1	2,03	0,38	+ 0,24	23,64
P.36	4673	5,4	0,5	0,28	0,6	0,86	5,65	5,9	1,43	0,092	+ 0,53	13,29
P.93	4661	2	0,36	0,28	0,76	0,35	2,3	2,36	0,46	0,18	+ 0,64	6,05
P.91	4662	8,3	4,6	1,28	1,3	4,66	9,4	12,9	3,18	0,55	+ 0,015	30,54
P.90	4663	7	6,9	0,85	2,2	4,16	10,05	13,9	1,89	0,99	+ 0,61	31,16

n° d'Invent.	n° d'analyse	rCa	rMg	(Na+K)	rCl	rsO ₄	rCO ₃ H	TH	rsQ/Cl	rMg/Ca	$\frac{rCl}{Cl} - (Na+K)$	concentration
R.180	4847	5,1	1,4	0,26	0,6	0,7	5,35	6,5	1,16	0,27	+ 0,57	13,41
R.183	4849	6	1,6	0,88	1,1	2,3	5,7	5,7	2,1	0,27	+ 0,20	17,58
R.283	4850	7,8	1,9	2,96	1,75	4,6	6,25	9,7	2,6	0,24	- 0,69	25,16
R.142	4851	5,9	1,4	0,36	1	1,25	5,25	7,3	1,25	0,24	+ 0,64	15,16
R.146	4853	5,9	1,1	0,42	0,75	1,35	4,3	7	1,8	0,18	+ 0,44	13,82
R.I	4854	7,8	3,5	2,26	1,8	4,71	5,75	11,3	2,6	0,47	- 0,25	25,82
R.152	4855	4,2	0,4	0,19	0,5	0,7	3,55	4,6	1,4	0,09	+ 0,62	9,54
R.201	4856	6	1,7	0,34	0,55	1,45	6,35	7,7	2,64	0,28	+ 0,62	16,38
R.174	4731	9,2	0,7	0,69	1,3	4,16	6,15	9,9	3,2	0,076	+ 0,47	22,20
R.172	4732	10,2	0,8	1,05	1,1	6	5,8	11	5,45	0,078	+ 0,045	24,95
R.190	4730	5,4	0,3	0,35	0,45	0,15	5,55	5,7	0,33	0,055	+ 0,22	12,20
R.175	4723	8,9	2,5	1,56	1,75	3,6	7,65	11,4	2,06	0,284	+ 0,12	26,96
R.185	4724	8,1	1,6	0,43	1,15	2,28	6,7	9,7	1,98	0,198	+ 0,62	20,26
R.176	4725	11,9	1,8	1,16	1,9	6,99	7,3	13,7	3,68	0,15	+ 0,39	31,05
R.189	4726	5,9	2,6	1,48	1,1	2,19	7,3	8,5	1,99	0,44	- 0,34	20,57
R.187	4727	8	1,7	0,38	0,95	2,32	7,15	9,7	2,44	0,21	+ 0,60	20,50
R.186	4728	8,8	2,3	1,20	1,4	4,77	6,5	11,1	3,36	0,26	+ 0,14	24,91
R.195	4729	12,3	1,7	5,45	3,1	6,9	7,6	14	2,23	0,13	- 0,76	37,05
R.164	4713	6,4	0,3	1,47	0,9	1,16	6,1	6,7	1,29	0,047	- 0,63	16,33
R.163	4714	5,9	0,2	0,30	0,75	0,865	5,35	6,10	1,15	0,034	+ 0,60	13,17
R.157	4715	6,9	0,5	0,46	0,9	0,36	7	7,4	0,4	0,072	+ 0,49	16,12
R.171	4716	4,3	0,4	0,18	0,6	0,09	4,65	4,7	0,15	0,093	+ 0,53	10,22
R.191	4717	6,6	0,3	0,3	0,65	0,38	7	6,9	0,58	0,045	+ 0,46	15,25
R.166	4718	6,5	0,7	1,79	1,55	2,28	4,5	7,2	1,46	0,1	- 0,15	17,32

n° d'Invent.	n° d'Analyse	rCa	rMg	r(Na+K)	rCl	rSO ₄	rCO ₂ H	TH	rSQ/Cl	rMg/Ca	$rCl - (Na+K)$	Concentration
R.153	4719	7,5	0,5	0,55	1,2	0,9	5,65	8	0,75	0,066	+ 0,54	16,30
R.246	4990	6,8	1,9	1,76	1,3	2,8	6,2	8,7	2,15	0,28	- 0,35	20,76
R.241	4998	4,7	0,9	0,33	0,65	1,35	4,4	5,6	2,08	0,19	+ 0,49	12,33
R.239	4997	4,4	1,0	0,44	0,65	1,07	4,5	5,4	1,65	0,22	+ 0,32	12,06
R.255	4995	4,9	1,0	0,73	0,7	1,2	4,8	5,9	1,72	0,20	- 0,04	13,33
R.251	4994	5,6	1,2	0,66	0,9	1,97	4,9	6,8	2,19	0,21	+ 0,26	15,23
R.245	4993	5,4	0,8	0,38	0,7	1,33	5,2	6,2	1,9	0,14	+ 0,46	12,78
R.250	4992	6,6	2,0	0,94	1,45	2	6,5	8,6	1,38	0,34	+ 0,35	19,49
R.242	4991	5,0	2,1	1,13	0,9	1,82	5,4	7,1	2,2	0,42	- 0,25	16,35
R.175 ¹	5323	4,4	2,4	0,94	0,7	0,34	6,4	6,8	0,5	0,5	- 0,34	15,18
Rhône :		3,6	2,1	0,35	0,75	0,87	3,2	4,7	1,1	0,57	+ 0,56	9,87
Traslepu (Roubine)	5322	4,4	1,9	0,35	0,6	0,45	5,15	6,3	0,75	0,43	+ 0,4	12,84
T.58	4898	8,00	0,9	0,63	1,35	1,92	5,75	8,9	1,44	0,11	+ 0,52	18,55
T.16	4899	6,6	0,3	0,89	1,2	1,45	4,75	6,9	1,21	0,04	+ 0,23	15,19
T.169	4720	8,4	0,5	0,71	1,75	1,34	6,2	8,9	0,76	0,059	+ 0,59	18,90
T.167	4721	8,3	0,4	0,91	1,3	3,54	4,6	8,7	2,76	0,048	+ 0,30	19,05
T.170	4722	6,1	0,3	0,35	1,1	2,4	4,15	6,4	2,18	0,049	+ 0,68	14,40
M.206	4902	7,8	1,2	0,66	1,4	3,34	5,0	9,0	2,40	0,15	+ 0,53	19,40
A.B.1	4989	5,5	1,5	0,59	0,75	2,05	4,95	7,0	2,74	0,27	+ 0,21	15,34
A.B.2	4988	5,8	0,8	0,61	0,85	1,82	4,95	6,6	2,14	0,13	+ 0,28	14,83
A.B.3	4986	8,8	3,0	1,38	1,0	5,52	7,35	11,8	5,52	0,34	- 0,38	27,00
A.B.4	4987	7,3	2,4	1,16	1,3	4,6	5,6	9,7	3,54	0,33	+ 0,10	22,36
A.B.5	4985	6,7	1,8	0,89	1,15	3,64	4,8	8,5	3,16	0,27	+ 0,22	18,98

n° d'Invent.	n° d'analyse.	rCa	rMg	(Na+K)	rCl	rsO ₄	rcO ₃ H	TH	rs _g /Cl	rMg/Ca	$\frac{rCl-(Na+K)}{Cl}$	Concentration
S.107	4654	7,2	3	1,17	1,45	3	6,85	10,2	2,00	0,42	+ 0,19	22,62
S.109	4655	6,5	5	0,53	1,15	1,68	6,6	11,5	1,46	0,77	+ 0,54	21,46
S.J	4657	6,7	7,6	1,1	1,7	4,2	6,8	14,3	3,6	1,13	+ 0,35	28,10
S.286	4852	3,9	3,4	0,73	0,95	1,9	5,6	7,3	2,00	0,87	+ 0,23	16,48
S.139	4934	6,4	1,8	0,65	0,85	2,72	5,5	8,2	3,20	0,28	+ 0,23	17,92
SG. 215	4894	9,9	2,2	1,18	1,55	5,91	6,9	12,1	3,82	0,22	+ 0,24	27,64
SG. 260	4897	6,5	0,7	0,42	0,7	2,36	4,95	7,2	3,38	0,10	+ 0,40	15,63
SG. 265	4903	7,3	0,9	0,81	1,0	2,26	5,5	8,2	2,26	0,12	+ 0,19	17,77
SG. 219	4905	7,9	2,0	1,33	1,0	2,19	8	9,9	2,19	0,25	- 0,33	22,42
SG. 263	4906	7,6	0,7	0,79	0,8	3,58	3,9	8,3	4,49	0,09	+ 0,01	17,37
S.280	4904	6,5	0,7	0,65	0,9	2,76	4,45	7,2	3,07	0,10	+ 0,30	15,96
S.222	4982	5,0	1,2	0,42	0,65	1,43	4,65	6,2	2,20	0,24	+ 0,35	13,35
S.223	4980	5,9	1,5	0,51	0,6	1,86	5,75	7,4	3,10	0,25	+ 0,15	16,13
S.S ₅	4940	6,6	1,1	0,44	0,75	1,13	5,15	7,7	1,5	0,16	+ 0,41	15,17
S.273	5001	5,1	3,1	4,89	1,95	3,15	7,8	8,2	1,6	0,61	- 1,5	25,89
S.230	5002	4,3	2,5	1,23	0,85	1,33	6,2	6,8	1,56	0,58	- 0,45	16,41
S.234	5003	5,9	3,7	1,88	1,35	4,16	6,25	9,6	3,08	0,63	- 0,39	23,24
S.231	5004	4,4	1,9	0,79	0,8	1,33	5,5	6,3	1,66	0,43	+ 0,01	14,72
S.237	5005	4,0	1,2	0,43	0,6	0,81	4,45	5,2	1,35	0,30	+ 0,47	11,49
S.238	5000	4,2	2,0	0,71	0,7	0,64	5,85	6,2	0,91	0,48	- 0,01	14,10
S.271	4999	4,8	1,3	0,63	0,75	1,45	4,8	6,1	1,94	0,27	+ 0,16	13,73
S.228	4996	5,3	2,6	1,48	1,05	1,82	6,75	7,9	1,73	0,49	- 0,41	19,00

n° d'Invent.	n° d'Analyse	rCa	rMg	r(Na+K)	rCl	rSO ₄	rCO ₃ H	TH	rSO ₄ /Cl	rMg/Ca	$\frac{rCl}{rCl + (Na+K)}$	Concentration
A.B.6	4984	6,6	1,7	1,76	1,3	2,98	5,9	8,3	2,3	0,26	- 0,35	20,24
A.B.7	4983	5,7	1,5	0,67	0,9	2,05	4,9	7,2	2,28	0,26	+ 0,25	15,72
A.B.8	4981	6,1	1,7	0,77	1,05	2,4	5,3	7,8	2,28	0,28	+ 0,26	17,32
V.117	4943	5,1	0,5	0,17	0,45	0,15	4,95	5,6	0,38	0,09	+ 0,62	11,32
V.119	4944	5,2	0,5	0,2	0,5	0,25	5,15	5,7	0,50	0,09	+ 0,60	11,80
V.128	4945	7,1	2,2	0,85	1,0	2,88	6,75	9,3	2,88	0,31	+ 0,15	20,78
V.126	4946	8,8	3,4	4,28	3,1	6,18	8,6	12,2	1,99	0,38	- 0,05	34,36
V.131	4933	6,5	1,4	0,55	0,8	1,95	6,1	7,9	2,44	0,21	+ 0,31	17,30
V.132	4935	8,6	1,9	0,77	0,9	5,1	6,3	10,5	5,67	0,22	+ 0,14	23,57
V.134	4936	5,7	1,4	0,67	0,75	1,64	5,45	7,1	2,18	0,25	+ 0,10	15,61
V.115	4937	5,2	2,4	0,55	0,55	0,88	6,65	7,6	1,6	0,46	0	16,23
V.114	4939	2,1	1,8	0,21	0,4	0,11	3,55	3,9	0,28	0,86	+ 0,47	8,17

Mesures de la résistivité (ohm.cm)

n° d'invent.	t°	Pt	P20°	X Coordonnées	Y
P 1	12°	3000	2480	793,38	188,84
P 3	13,5	2200	1880	793,48	189,00
P 4	14	620	540	793,03	188,84
P 5	14	2500	2178	792,56	189,38
P 6	14	3020	2622	792,40	189,40
P 7	14°5	2900	2540	792,42	189,44
P a	11	1260	1010	Roubine venant de Saze	
P 8	14°5	1240	1079	791,62	189,64
P 9	13°5	1820	1555	791,20	189,92
P 10	11°5	1420	1154	791,34	189,74
P 11	13°	1200	1015	791,36	189,68
P 12	13	520	441	791,42	190,36
P 13	13	2000	1695	791,48	190,24
P 14	12°5	2400	2000	791,50	190,20
P 15	11	2200	1760	791,55	190,16
T 16	14	1600	1391	791,26	191,26
P 17	10,30	2900	2790	792,72	189,36
P 18	11	2000	1600	792,78	189,36
P 19	14	1100	956	793,16	189,70
P 20	13	900	763	793,12	189,58
P 21	11	1240	993	793,06	189,52
P 22	11	1060	650	793,02	189,48
P 23	13°5	2200	1880	793,34	189,46
P 24	12°5	2500	2000	793,42	189,47
P S ₁	16°5	1240	1118	794,38	191,54

VIII

n° d'invent.	t°	Pt	P20°	X	Coordonnées Y
P 25	16°	2600	2380	793,44	189,32
P 26	16°	2700	2468	793,60	189,30
P 27	15	1560	1390	793,62	189,52
P 28	14	2800	2439	793,80	189,52
P 29	15°5	2700	2430	793,80	189,35
P 30	16	2700	2462	794,08	189,40
P 31	13	1480	1254	794,08	189,58
P 32	12	1700	1400	793,94	189,50
P 33	16	2500	2288		
P 34	13	1960	1660	794,38	189,48
P 35	13	1400	1198	794,15	189,56
P 36	13°5	2280	1948	794,34	189,52
P 37	13°5	2500	2140	794,48	189,56
P 38	12	2200	1812	794,66	189,66
P 39	14	1410	1225	794,84	189,90
P 40	14	840	696	794,64	190,04
P 41	13°5	740	632	794,62	190,10
P 42	14°5	1020	895	794,50	189,70
P 43	13	1410	1194	794,64	189,84
P 44	12°5	1610	1342	794,38	189,74
P 45	15	620	554	792,52	191,12
P 46	15	340	303	792,53	191,22
P 47	14°5	920	806	792,48	191,14
P 48	12°5	1860	1550	791,92	191,14
P 49	12	1560	1296	792,00	190,92

IX

n° d'invent.	t°	Pt	P20°	X	Coordonnées Y
P 50	12	1840	1518	791,68	190,64
P 51	11	1520	1215	791,62	190,90
P 52	13°5	1480	1264	791,38	190,84
P 53	13°5	2000	1708	791,62	191,18
P 54	13	2220	1880	791,52	191,28
P 55	12	1720	1420	791,64	191,38
P 56	14	1900	1552	791,55	191,26
T 57	15	1420	1264	790,92	191,86
T 58	14°5	1360	1192	790,98	192,42
P 59	14	510	444	792,54	191,50
P 60	14	1280	1113	792,80	192,20
P 61	13	1400	1186	793,06	192,20
P 62	14	720	618	792,98	192,00
P 64	15	1640	1460	793,00	192,38
P 65	13 5	1600	1366	793,04	192,38
P 66	13°5	1620	1382	792,92	192,52
P 67	13 5	1400	1196	793,02	192,36
P 68	12 5	1520	1268	793,00	192,44
P 69	13 5	1400	1196	794,38	192,80
P 70	15	1720	1530	795,71	190,72
P 71	13	1680	1426	795,60	190,68
P 72	13	1920	1630	795,58	190,28
P 73	14 5	1790	1570	196,04	191,17
P 74	14 5	940	825	795,70	191,86
P 75	14 5	3600	3160	795,76	191,84

n° d'invent.	t°	Pt	P20°	Coordonnées	
				X	Y
V 121	14,5	1880	1650	798,04	188,18
P 82	13 5	1020	872	795,02	192,24
P 83	14	760	660	795,20	192,15
P 84	13 5	740	632	795,26	192,12
P 85	13	940	796	795,27	192,16
P 86	13	500	424	795,39	192,06
P 87	14	300	270	795,49	192,02
P 88	13 5	1100	940	795,64	192,00
P 89	14	1060	922	795,68	191,98
P 90	15	900	810	796,02	191,90
P 91	14	950	826	796,10	191,98
P 92	12	800	660	796,20	191,85
P 93	14 5	5400	4750	796,40	192,13
P 94	14 5	870	764	796,00	192,32
P 95	15	720	650	795,40	192,17
P 96	14 8	1280	1130	796,05	192,50
P 97	13,6	900	774	796,10	192,51
P 98	14	720	618	796,57	192,78
P 99	14,3	850	745	796,63	192,76
P 100	10,8	1100	880	796,69	192,80
P 101	13,2	1080	920	796,54	192,70
P 102	12,8	960	808	796,54	192,66
103	14,2	900	785	796,58	192,60
V 122	14,8	1920	1698	798,18	188,04
V 123	14,6	1840	1620	798,72	188,30

XI

n° d'invent.	t°	Pt	P20°	Coordonnées	
				X	Y
P 76	14	2080	1810	795,79	191,92
P 77	14	1240	1080	795,22	192,00
P 78	13°5	1400	1196	795,24	192,02
P 79	14	760	660	795,25	192,10
P 80	14 5	1000	878	795,16	192,05
P 81	14	900	782	795,10	192,20
P 104	14 1	1120	980	796,40	192,90
P 105	14 5	1000	878	796,33	192,90
P 106	12 3	1180	980	796,77	192,53
P S ₂	14	900	782	796,70	192,52
S 107	13 6	1480	1270	797,82	192,93
S 108	13 5	1480	1265	797,70	192,93
S 109	14,2	1600	1400	797,55	192,86
P 110	13 7	1680	1450	797,00	192,40
P S ₃	13,3	1630	1390	797,09	192,58
V 111	11,4	2280	1852	796,80	190,56
V 112	14,2	2040	1780	796,80	189,10
V 113	14 5	1680	1472	796,84	189,07
V 114	13,6	3200	2595	796,68	189,12
V 115	14 2	1600	1396	797,63	189,50
V 116	14 5	1540	1350	797,51	189,50
V 117	14	2200	1914	798,38	190,58
V 118	14	1920	1670	798,34	190,36
V 119	14 5	2080	1820	798,18	190,26
V 120	14 5	2280	2000	798,15	190,28

XII

n° d'invent.	t°	Pt	P20°	Coordonnées	
				X	Y
V 124	15	1960	1740	798,22	188,40
V 125	15	700	625	798,04	188,98
V 126	15	1980	1760	797,63	189,26
V 127	15	2000	1780	798,22	190,20
V 128	14,5	1500	1315	798,78	191,00
V 129	15	1520	1350	798,63	191,00
V 130	14,2	1600	1396	799,30	191,25
V 131	14,2	1560	1360	799,34	190,98
V 132	14,6	1420	1250	799,60	191,68
V 133	14,7	1060	936	800,06	191,68
V 134	14,8	1600	1420	800,50	191,24
S 135	13,1	1920	1610	800,47	192,32
S 136	14,1	1700	1480	800,12	192,09
S 137	14,8	1600	1420	799,70	192,10
S 138	14,5	2000	1754	799,70	192,50
S 139	14,1	1800	1570	799,60	192,70
S 140	14,3	1240	1084	798,86	191,20
R 141	10	1320	1030	794,18	195,33
R 142	13,5	1800	1540	794,16	195,29
R 143	11,5	2000	1625	793,70	194,88
R 144	9,5	2800	2178	793,60	194,90
R 145	13,5	1400	1195	793,40	194,70
E 146	13,5	800	740	793,44	194,72
R 147	8,5	1800	1400	793,30	194,64
R 148	13,5	2000	1708	793,30	194,57

n° d'invent.	t°	Pt	P20°	Coordonnées	
				X	Y
R 149	10	2000	1560	793,15	194,38
R 150	12,5	1760	1465	793,13	194,59
R 151	12,5	1740	1400	793,12	194,42
R 152	14	2600	2260	793,15	194,28
R 153	13,5	1600	1366	792,76	194,10
R 154	13	2000	1695	792,74	194,07
R 155	14,3	1600	1400	792,64	194,28
R 156	11,6	1340	1090	792,50	194,30
R 157	12,8	1600	1350	792,46	194,54
R 158	13	1520	1188	792,64	194,72
R 159	12	1500	1236	792,44	194,64
R 160	14,1	1520	1320	792,37	194,77
R 161	12,6	1320	1100	792,44	194,86
R 162	12,4	1920	1596	792,32	194,97
R 163	14,5	1880	1600	792,20	194,90
R 164	12,5	1920	1600	792,22	195,02
R 165	13,2	1340	1138	792,07	195,06
R 166	13	1520	1188	791,48	194,96
T 167	13,6	1480	1270	791,54	193,40
T 168	13,2	1510	1280	791,59	193,36
T 169	14	1560	1355	792,06	192,90
T 170	13	1880	1592	791,98	193,12
R 171	12,4	2600	2160	791,96	195,21
R 172	13	1200	1020	792,28	195,42
R 173	13	1540	1306	792,35	195,50

n° d'invent.	t°	Pt	P20 °	Coordonnées	
				X	Y
R 174	13,6	1420	1220	792,97	195,50
R 175	11,5	1140	925	793,96	195,40
R 176	11,5	1000	813	793,52	195,78
R 177	10°	1920	1500	794,16	195,22
R 178	9,5	1720	1340	793,74	196,15
R 179	8,2	2000	1480	794,79	196,18
R 180	12,2	1880	1560	794,89	196,44
R 181	12,5	1720	1430	794,88	196,60
R 182	10,5	1800	1420	794,44	196,73
R 183	12	1120	925	794,36	196,58
R 184	12	1560	1286	794,08	196,53
R 185	11	1480	1180	792,99	196,56
R 186	12,6	1100	920	792,58	196,46
R 187	11,6	1520	1240	791,51	196,66
R 188	12	1200	990	791,92	196,78
R 189	12	1320	1090	791,92	196,78
R 190	12,1	2200	1820	792,92	195,84
R 191	9	2000	1520	792,91	194,90
R 192	12	1480	1220	792,66	195,18
R 193	9,5	500	390	792,34	195,90
R 194	11	1600	1280	792,16	196,11
R 195	11	800	640	792,56	196,05
R 196	10,5	1200	950	792,58	196,07
R 197	10,5	2000	1580	792,77	196,13
R 198	10,5	1880	1485	792,81	196,22

n° d'invent.	t°	Pt	P20°	X Coordonnées Y	
R 199	11	1520	1215	792,91	196,18
R 200	12°5	1600	1330	794,39	196,40
R 201	12°5	1680	1400	794,57	196,40
R 202	11,6	2800	2280	794,26	197,83
R 203	12	1600	1320	794,12	198,52
M 204	11,6	800	600	793,86	198,38
M 205	14°	1520	1320	794,12	198,88
M 206	12°	1400	1155	794,14	199,66
M 207	12°4	1280	1060	794,12	199,70
M 208	12,5	1560	1300	793,80	198,98
M 209	13	1460	1237	793,70	199,10
M 210	12,5	1320	1100	793,50	199,12
M 211	12,3	1520	1260	793,34	199,38
M 212	11,5	1200	975	793,05	200,02
M 213	12,2	1520	1260	793,00	200,12
M 214	14	1560	1360	792,86	200,26
S.G.215	11,9	1140	940	791,84	198,54
S.G.216	11	1000	800	791,64	198,60
S.G.217	10,7	1360	1080	791,48	198,64
S.G.218	12,2	1100	910	790,52	197,54
S.G.219	12,1	1140	945	790,30	197,58
S.G.220	9,5	1400	1090	790,54	198,36
S 221	17,7	2500	2040	799,38	193,22
S 222	12,2	2400	1990	799,10	193,20

n°	t	Pt	P20°	Coordonnées	
				X	Y
R 248	13°8	1360	1170	795,50	196,60
R 249	11,4	800	650	795,63	196,64
R 250	13	1320	1120	795,38	196,39
R 251	13	2000	1695	796,30	196,08
R 252	13	1800	1525	796,24	196,20
R 253	13,1	1680	1420	796,30	196,4
R 254	13,2	1200	1020	795,94	196
R 255	13 3	1160	930	795,92	196,77
R 256	13,5	1180	1010	796,24	196,70
R 257	13 2	1380	1170	796,30	196,76
R 258	8 5	1200	895	796,28	196,60
R 259	12	1700	1400	795,64	198,80
S.G.260	13°	2000	1695	792,46	198,35
S.G.261	9,7	2360	1830	792,32	198,43
S.G.262	18°2	1320	1090	792,80	198,40
S.G.263	11,2	1600	1290	791,64	198,68
S.G.264	13 4	900	770	791,60	199,04
S.G.265	10,5	1280	1010	791,04	198,68
S.G.266	9,5	1320	1025	1 m	
S 267	13	1700	1440	797,34	194,50
S 268	13 2	1800	1530	797,40	194,56
S 269	13 4	1920	1640	797,38	194,67
S 270	13		1700	797,40	194,80
S 271	11		250	797,52	194,86
S 272	13	1500	1520	797,42	194,26

n°	t	Pt	P20 °	Coordonnées	
				X	Y
S 223	13°1	1800	1520	798,62	193,36
S 224	11	700	560	798,56	193,05
S 225	11,2	1020	825	798,40	193,23
S 226	14	1360	1180	798,16	193,50
S 227	14,3	1320	1150	798,14	193,78
S 228	12,9	1320	1100	798,22	193,88
S 229	13,8	1560	1340	797,84	194,44
S 230	13,9	1600	1385	797,75	194,67
S 231	13,8	1800	1500	798,30	194,66
S 232	10,5	1320	1040	798,22	194,90
S 233	13	1880	1592	797,48	195,16
S 234	12,6	1320	1100	797,80	195,26
S 235	14	1200	1040	797,84	195,40
S 236	13°8	1740	1500	797,60	195,52
S 237	13	2120	1800	798,12	195,58
S 238	14,2	1710	1490	797,34	195,02
R 239	13°7	2140	1800	797,16	196,28
R 240	13 6	1920	1650	796,86	196,48
R 241	11,6	2000	1630	797,08	196,66
R 242	11,3	1000	810	796,44	196,90
R 243	12 8	2240	1890	796,45	197,11
R 244	12°4	2320	1930	796,38	197,26
R 245	11 6	1920	1565	796,16	197,30
R 246	13,9	1320	1140	795,52	196,82
R 247	12 6	1400	1170	795,60	196,78

XVIII

n°	t	Pt	P20°	Coordonnées	
				X	Y
S 273	12°2	900	745	797,56	193,82
S 274	13	1400	1190	797,17	193,78
S 275	11	1200	960	797,20	193,60
S 276	10 9	540	460	797,30	193,58
S 277	9°7	1500	1160	797,82	193,03
S 278	10 7	1580	1250	797,82	193,07
S 279	11°	540	430	797,96	193,00
S 280	12 5	1700	1420	796,92	193,77
S 281	12 5	1720	1430	797,96	193,96
R 282	13	900	760		

XIX

N°	COTE REPERE	DATE	16.9.1964	N°	COTE REPERE	DATE	16.9.64
P1	17,92	5.65	12.27	P24	19,83	-	-
P2	17,95	5.12	12.83	P25	20,31	-	-
P3	17,98	5.30	12.68	P26	20,87	-	-
P4	16,79	3.66	13.13	P27	18,99	4.34	14.65
P5	17,80	4.86	12.94	P28	20,35	5.43	14.92
P6	18,43	5.78	12.65	P29	20,11	5.04	15.07
P7	18,43	4.24	14.13	P30	20,99	5.67	15.32
P8	16,79	3.57	13.22	P31	20,59	4.93	15.66
P9	18,32	5.67	12.65	P32	20,79	5.43	15.36
P10	17,94	3.88	14.06	P33	20,34	5.30	15.04
P11	17,69	4.54	13.15	P36	21,14	5.53	15.61
P12	18,48	5.58	12,90	P37	20,75	4.79	15.96
P13	18,10	4.56	13.54	P38	20,35	4.00	16.35
P14	18,57	5.21	13.36	P294	17,54	4.72	12.82
P15	18,27	5.21	13.06	P295	17,89	4.86	13.03
P16	18,93	5.15	13.78	P296	18,86	5.74	13.12
P17	19,08	5.84	13.24	PA5	17,69	5.12	12.57
P18	19,39	6,41	12,98	PA10	19,98	5.30	14.68
P19	18,90	5.57	13.33	PA11	19,35	4.10	15.25
P20	19,18	5.25	13.93	PA12	19,46	3.96	15.50
P21	20,50	6.79	13.71	PA16	19,60	4.68	14.92
P22	21,02	-	-	PA17	19,53	3.32	15.21
P23	19,86	5.48	14.38	PA18	19,77	4.01	15.76

N°	COTE REPERE	DATE	17-9-64	N°	COTE REPERE	DATE	16-9-64
P34	19,43	3.73	15.70	P59	21,06	4.07	16.99
P35	20,83	5.51	15.32	P60	21,82	4.95	16.87
P39	19,91	3.90	16.01	P61	21,72	4.46	17.20
P40	20,43	4.81	15.62	P62	21,21	3.79	17.42
P41	21,40	5.44	15.96	P63	21,33	3.60	17.73
P42	20,76	4.68	16.08	P64	20,41	2.25	18.16
P43	21,17	4.87	16.30	P65	21,15	2.53	18.62
P44	20,02	3.98	16.04	P66	21,12	2.93	18.19
P45	21,05	5.30	15.75	P67	22,12	3.69	18.43
P46	21,78	5.78	16.00	P68	21,64	2.51	19.13
P47	21,78	4.69	17.09	P69	21,88	2.92	18.96
P48	21,10	4.30	16.80	P70	21,84	2.90	18.94
P49	20,34	4.30	16.04	P71	21,94	2.85	19.09
P50	21,40	5.46	15.94	P72	24,55	5.09	19.46
P51	21,79	5.04	16.75	P.73	22,79	3.35	19.44
P52	22,80	5.21	17.59	P74	22,77	3.62	19.15
P53	20,46	3.25	17.21	P75	22,96	3.90	19.06
P56	20,56	4.60	15.96	P76	23,11	4.00	19.11
P57	22,13	4.39	17.74	P77	23,73	4.21	19.52
PA13	20,56	4.00	16.56	P78	23,45	3.79	19.66
P58	20,78	3.53	17.25	P79	22,91	3.60	19.31
P54	21,10	4.44	16.66	P80	23,32	4.21	19.11
P55	21,36	4.85	16.51	P81	23,78	3.95	19.83

N°	COTE REPERE	DATE	16-9-64	N°	COTE REPERE	DATE	16-9-64
P82	22,56	2.74	19.84	P97	24,70	3.83	20.87
P83	23,22	3.72	19.50	P98	22,91	2.11	20.80
P84	24,10	4.88	19.22	P99	24,09	3.41	20.68
P85	23,16	3.07	20.09	P100	23,90	3.35	20.55
P86	21,98	2.14	19.84	P101	25,38	3.49	21.89
P87	23,96	3.93	20.03	P102	24,26	3.44	20.82
P88	23,09	3.51	19.58	P103	23,96	3.23	20.73
P91	23,17	3.46	19.71	P104	24,61	3.95	20.66
PA14	20,98	3.38	17.60	P105	24,25	3.88	20.37
PA15	22,99	4.48	18.51	P106	24,58	3.70	20.88
P89	23,21	2.70	20.51	P107	25,02	4.32	20.70
P90	23,29	3.11	20.18	P108	24,29	3.51	20.78
P92	23,90	2.15	21.75	P109	25,23	4.79	20.44
P93	23,99	3.33	20.66	P110	24,95	3.88	21.07
P94	23,79	3.65	20.15	P111	24,72	3.95	20.77
P95	23,89	4.02	19.87	P112	24,69	4.00	20.69
P96	25,39	2.85	22.54	P113	25,58	5.06	20.52
P114	25,36	2.68	22.68	P116	26,24	5.53	20.71
P115	24.06	3.37	20.69	P117	24,68	3.90	20.78

XXII

N°	COTE REPERE	DATE	15-9-64	N°	COTE REPERE	DATE	14-9-64
P118	17,68	-	-	P141	18,93	4.83	14.10
P119	17,90	5.62	12.28	P142	19,94	5.52	14.42
P120	18,17	6.03	12.14	P143	19,18	4.47	14.71
P121	19,69	7.22	12.47	P144	19,20	4.35	14.85
P122	18,63	6.26	12.37	P145	19,62	4.42	15.20
P123	18,87	5.78	13.09	P146	19,89	4.32	15.57
P124	19,05	5.55	13.40	P147	19,70	6.00	13.70
P125	19,41	5.58	13.83	P148	19,14	5.27	13.87
P126	19,11	5.05	14.06	P149	20,45	5.75	14.70
P127	20,12	7.42	12.70	P150	19,47	4.67	14.80
P128	18,09	-	-	P151	19,58	4.50	15.08
P129	18,57	4.23	14.34	P152	19,90	-	-
P130	19,02	4.30	14.72	P153	20,61	4.62	15.99
P131	19,50	5.02	14.48	P154	19,56	6.40	13.16
P132	20,44	-	-	P155	19,15	5.28	13.87
P133	19,70	4.54	15.16	P156	19,65	5.44	14.21
P134	20,71	7.72	12.99	P157	19,74	5.30	14.44
P135	19,37	4.94	14.43	P158	20,01	5.24	14.77
P136	19,12	4.42	14.70	P159	19,68	4.72	14.96
P137	19,11	4.40	14.71	P160	20,11	4.54	15.57
P138	18,73	5.50	13.23	P161	20,53	7.24	13.29
P139	19,42	4.98	14.44	P162	20,02	4.68	15.34
P140	19,54	6.42	13.12	P163	20,41	7.12	13.29

XXIII

N°	COTE REPERE	DATE	14-9-64	N°	COTE REPERE	DATE	14-9-64
P164	19,92	5.84	14.08	P183	25,75	7.36	18.39
P165	20,04	5.67	14.37	P184	22,82	3.94	18.88
P166	20,61	5.28	15.33	P185	23,03	3.67	19.36
P167	20,27	5.60	14.67	P186	23,35	4.60	18.75
P168	20,87	4.14	16.73	P187	23,03	3.88	19.15
P169	20,94	3.36	17.58	P188	23,67	4.49	19.18
P170	20,91	6.02	14.89	P189	23,87	4.70	19.17
P171	21,08	4.95	16.13	P190	24,05	4.75	19.30
P172	21,65	-	-	P191	23,61	4.94	18.67
PA1	18,49	3.93	14.56	P192	24,53	5.18	19.35
PA2	19,31	5.75	13.56	P193	24,08	4.49	19.59
PA3	18,16	5.05	13.11	P194	24,54	4.73	19.81
PA4	20,23	4.05	16.18	P195	23,75	3.97	19.78
P173	22,71	4.71	18.00	P196	24,90	4.97	19.93
P174	22,36	3.92	18.44	P197	25,32	5.24	20.08
P175	22,37	-	-	P198	25,75	5.40	20.35
P176	22,51	4.24	18.27	P199	24,44	4.15	20.29
P177	23,16	4.43	18.73	P319	21,35	3.03	18.32
P178	22,95	4.57	18.38	P320	28,28	8.72	19.56
P179	22,53	3.60	18.93	P325	23,97	5.67	18.30
P180	23,24	4.42	18.82	P326	22,15	3.94	18.21
P181	23,98	5.26	18.72	P328	28,99	9.82	18.17
P182	23,30	4.83	18.47	P329	28,41	7.70	20.71

XXIV.

N°	COTE REPERE	DATE	14-9-1964	N°	COTE REPERE	DATE	14-9-1964
P332	21,99	3.62	18.37	PA26	25,44	6.60	18.84
P346	25,85	6.55	19.30	PA27	23,46	4.97	18.49

N°	COTE REPERE	DATE	8 AVRIL	N°	COTE REPERE	DATE	8 AVRIL
P1	1792	-	-	P24	19,83	3,64	16,19
P2	1795	2,79	15,16	P25	20,31	3,92	16,39
P3	1798	4,10	13,88	P26	20,81	4,24	16,63
P4	16,79	1,41	15,38	P27	18,99	2,48	16,51
P5	17,80	2,46	15,34	P28	20,35	4,01	16,34
P6	18,43	3,17	15,26	P29	20,11	3,88	16,23
P7	18,43	-	-	P30	20,99	5,01	15,98
P8	16,79	1,30	15,49	P31	20,59	4,36	16,23
P9	18,32	2,96	15,36	P32	20,79	3,83	16,96
P10	17,94	3,01	14,93	P33	20,34	2,83	17,51
P11	18,77	-	-	P36	21,14	4,84	16,30
P12	18,48	3,08	15,40	P37	20,75	3,57	17,18
P13	18,10	3,53	14,57	P38	20,35	2,06	18,29
P14	18,57	3,68	14,89	P294	17,54	2,43	15,11
P15	18,27	2,99	15,28	P295	17,89	2,54	15,35
P16	18,93	4,04	14,89	P296	18,86	3,41	15,45
P17	19,08	3,92	15,16	PA5	17,69	2,35	15,34
P18	19,39	3,46	15,93	PA10	19,98	3,68	16,30
P19	18,90	3,17	15,73	PA11	19,35	2,90	16,45
P20	19,18	2,90	16,28	PA12	19,46	3,04	16,42
P21	20,50	4,35	16,15	PA16	19,60	3,26	16,34
P22	21,02	4,75	16,27	PA17	19,53	2,97	16,56
P23	19,86	3,52	16,34	PA18	19,77	3,06	16,71

XXVI

N°	COTE REPERE	DATE	31-3-1965	N°	COTE REPERE	DATE	31-3-1965
P54	21,10	4.05	17.05	P80	23,32	-	-
P55	21,36	4.30	17.06	P81	23,78	3.04	20.74
P59	21,06	3.55	17.51	P82	22,56	1.58	20.98
P60	21,82	4.44	17.38	P83	23,22	1.91	21.31
P61	21,72	2.93	18.79	P84	24,10	1.65	22.45
P62	21,21	1.49	19.72	P85	23,16	2.00	21.16
P63	21,33	2.88	18.45	P86	21,98	0.52	21.46
P64	20,41	1.44	18.97	P87	23,96	2.39	21.57
P65	21,15	1.79	19.36	P88	23,09	0.91	22.18
P66	21,12	2.04	19.08	P91	23,17	0.57	22.60
P67	22,12	2.21	19.91	PA14	23,17	3.32	17.66
P68	21,64	1.75	19.89	PA15	22,99	2.21	20.78
P69	21,88	1.93	19.85	P89	23,21	1.14	22.07
P70	21,84	1.07	20.77	P90	23,29	1.32	21.97
P71	21,94	2.09	19.85	P92	23,90	1.49	22.41
P72	24,55	4.32	20.23	P93	23,99	1.65	22.34
P73	22,79	2.46	20.33	P94	23,80	1.46	22.34
P74	22,77	2.51	20.26	P95	23,89	1.05	22.84
P75	22,96	2.30	20.66	P96	25,39	2.00	23.39
P76	23,11	1.49	21.62	P97	24,70	2.04	22.66
P77	23,73	3.35	20.38	P98	22,91	0.26	22.65
P78	23,45	2.84	20.61	P99	24,09	1.25	22.84
P79	22,91	2.00	20.91	P100	23,90	1.07	22.83

XXVII

N°	COTE REPERE	DATE	31-3-65	N°	COTE REPERE	DATE	8-4-65
P101	25,38	2.49	22.89	P42	20,76	3.80	16.96
P102	24,26	1.39	22.87	P43	21,17	4.16	17.01
P103	23,96	1.06	22.90	P44	20,02	3.32	16.70
P104	24,61	1.51	23.10	P45	21,05	4.35	16.70
P105	24,25	1.14	23.11	P46	21,78	4.86	16.92
P106	24,58	1.74	22.84	P47	21,78	2.81	18.97
P107	25,02	1.82	23.20	P48	21,10	3.69	17.41
P108	24,29	0,83	23.46	P49	20,34	3.53	16.81
P109	25,23	1.54	23.69	P50	21,40	4.58	16.82
P110	24.95	2.25	22.70	P51	21,79	3.68	18.11
P111	24,72	1.65	23.07	P52	22,80	3.09	19.71
P112	24,69	1.27	23.42	P53	20,46	2.56	17.90
P113	25,58	1.65	23.93	P56	20,56	3.42	17.14
P114	25,36	2.60	22.76	P57	22,13	2,04	20.09
P115	24.06	0,93	23.13	PA13	20,56	3.33	17.23
P116	26,24	2.42	23.82	P58	20,78	2.95	17.83
P117	24,68	1.18	23.50			DATE	1-4-65
		DATE	8-4-65	P118	17,68	1.60	16.08
P34	19,43	2.70	16.73	P119	17,90	1.60	16.30
P35	20,83	4.60	16.23	P120	18,17	2.17	16
P39	19,91	3.08	16.83	P121	19,69	-	-
P40	20,43	3.95	16.48	P122	18,63	2.14	16.49
P41	21,40	4.74	16.66	P123	18,87	2.03	16.84

XXVIII

N°	COTE REPERE	DATE	1-4-65	N°	COTE REPERE	DATE	1-4-65
P124	19,05	2.25	16.80	P146	19,89	2.60	17,29
P125	19,41	2.10	17.31	P147	19,70	5	14.70
P126	19,11	1.56	17.55	P148	19,14	5.20	13.94
P127	20,12	3.60	16.52	P149	20,45	5.68	14.77
P128	18,05	1.95	16.10	P150	19,47	4.40	15.07
P129	18,57	2.20	16.37			DATE	8-4-65
P130	19,02	2.30	16.72	P151	19,58	3.44	16.14
P131	19,50	1.96	17.54	P152	19,90	3.25	16.65
P132	20,44	2.44	18	P153	20,61	2.41	18.20
P133	19,77	3.24	16.46	P154	19,56	3.85	15.71
P134	20,71	4.55	16.16	P155	19,15	5.03	14.12
P135	19,37	3.40	15.97	P156	19,65	5.42	14.23
P136	19,12	2.77	16.35	P157	19,74	4.80	14.94
P137	19,11	2.41	16.70	P158	20,01	4.33	15.68
P138	18,73	3.60	15.13	P159	19,68	3.40	16.28
P139	19,42	4.05	15.37	P160	20,11	3.03	17.08
P140	19,54	4.97	14.57	P161	20,53	4.86	15.67
P141	18,93	4.55	14.38	P162	20,02	-	-
P142	19,94	5.04	14.90	P163	20,41	-	-
P143	19,18	3.96	15.22	P164	19,92	4.42	15.50
P144	19,20	3.27	15.93	P165	20,04	3.78	16.26
P145	19,62	3.20	16.42	P166	20,61	3.34	17.27

XXIX

N°	COTE REPERE	DATE	8 AVRIL	N°	COTE REPERE	DATE	31-3-1965
P167	20,27	3.30	16.97	P186	23,35	2.65	20.70
P168	20,87			P187	23,03	1.47	21.56
P169	19,62			P188	23,67	2.58	21.09
P170	20,91	3.50	17.41	P189	23,87	2.70	21.17
P171	21,08	2.50	18.58	P190	24,05	2.51	21.54
P172	21,65	3.24	18.41	P191	23,61	2.03	20.58
PA1	18,49	2.46	16.03	P192	24,53	1.50	23.03
PA2	19,31	3	16,31	P193	24,08	2.28	21.80
PA3	18,16	2	16,16	P194	24,54	1.92	22.62
PA4	20,23	1.52	18.71	P195	23,75	1.42	22.33
P331	16,97	1.86	15.11	P196	24,90	1.37	23.53
P173	22,71	1.30	21.41	P197	25,32	2.55	22.77
P174	22,96	1.65	20.71	P198	25,75	2.08	23.67
P175	22,37	1.28	21.09	P199	24,44		
P176	22,51	1.22	21.29	P319	21,35	1.05	20.30
P177	23,16	2.65	20,51	P320	28,28	9.58	18.70
P178	22,95	2.53	20.42	P325	23,97	2.76	21.21
P179	22,53	1.37	21.16	P326	22,15	1.26	20.89
P180	23,24	1.47	21.77	P328	28,99	7.98	21.01
P181	23,98	3.83	20.15	P329	28,41	8.06	20.35
P182	23,30	2.90	20.40	P332	21,99	1.20	20.79
P183	25,75	4.51	21.24	P346	25,85	4.13	21.72
P184	22,82	2.22	20.60	PA26	25,44	5.47	19.97
P185	23,03	1.80	21.23	PA27	23,46	2.35	21.11

Nº	COTE REPERE	DATE	19 AOUT	Nº	COTE REPERE	DATE	19 AOUT
		lecture	côte nappe			lecture	côte nappe
P 1	17,92	5.14	12.78	P 24	19,83	4.39	15.44
P 2	17,95	4.58	13.37	P 25	20,31	5.65	14.66
P 3	17,98	4.09	13.89	P 26	20,87	6.20	14.67
P 4	16,79	2.78	14.01	P 27	18,99	4.26	13.73
P 5	17,80	4.34	13.46	P 28	20,35	-	-
P 6	18,43	5.25	13.18	P 29	20,11	4.86	15.25
P 7	18,43	4.63	13.80	P 30	20,99	5.44	15.55
P 8	16,79	3.07	13.72	P 31	20,59	4.57	16.02
P 9	18,32	5.21	13.11	P 32	20,79	4.85	15.94
P 10	17,94	3.86	14.08	P 33	20,34	4.80	15.54
P 11	18,77	5.08	13.69	P 36	21,14	5.26	15.88
P 12	18,48	5.23	13.25	P 37	20,75	4.23	16.52
P 13	18,10	4.26	13.84	P 38	20,35	3.43	16.92
P 14	18,57	4.88	13.69	P. 294	17,54	4.21	13.33
P 15	18,27	4.87	13.40	P. 295	17,89	4.34	13.55
P 16	18,93	5.11	13.82	P 296	18,86	5.39	13.47
P 17	19,08	-	-	PA 5	17,69	4.54	13.15
P 18	19,39	6.09	13.30	PA 10	19,98	5.18	14.80
P 19	18,90	5.28	13.62	PA 11	19,35	-	-
P 20	19,18	5.10	14.08	PA 12	19,46	3.85	15.61
P 21	20,50	5.47	15.03	PA 16	19,60	4.51	15.09
P 22	21,02	7,18	13,84	PA 17	19,53	4.27	15.26
P 23	19,86	5.29	14.57	PA 18	19,77	3.68	16.11

XXXI

N°	COTE REPERE	DATE	17-8-1965	N°	COTE REPERE	DATE	17-8-1965
P 34	19,43	3.77	15.66	P 48	21,10	4.36	16.74
P 35	20,83	5.30	15.53	P 49	20,34	3.98	16.36
P 39	19,91	3.83	16.08	P 50	21,40	5.09	16.31
P 40	20,43	4.52	15.91	P 51	21,79	4.41	17.38
P 41	21,40	5.09	16.31	P 52	22,80	4.47	18.33
P 42	20,76	4.21	16.55	P 53	20,46	3.53	16.93
P 43	21,17	4.90	16.27	P 56	20,56	4.00	16.56
P 44	20,02	3.78	16.24	P 57	22,13	3.67	18.46
P 45	21,05	4.90	16.15	PA.13	20,56	3.98	16.58
P 46	21,78	5.32	16.46	P 58	20,78	3.81	16.97
P 47	21,78	4.11	17.67				

N°	COTE REPERE	DATE	19-8-1965	N°	COTE REPERE	DATE	18-8-1965
P 99	24,09	2,78	21,31	P 61	21,72	3,95	17,77
P 100	23,90	2,73	21,17	P 62	21,21	2,92	18,29
P 101	25,38	3,52	21,86	P 63	21,33	4,00	17,33
P 102	24,26	2,83	21,43	P 64	20,41	2,58	17,83
P 103	23,96	2,60	21,36	P 65	21,15	2,90	18,25
P 104	24,61	3,32	21,23	P 66	21,12	3,13	17,99
P 105	24,25	3,14	21,11	P 67	21,12	3,47	18,65
P 106	24,58	3,12	21,46	P 68	21,64	2,69	18,95
P 107	25,02	3,65	21,39	P 69	21,88	2,95	18,93
P 108	24,29	2,93	21,36	P 70	21,84	2,44	19,40
P 109	25,23	3,95	21,28	P 71	21,94	3,00	18,94
P 110	24,95	3,27	21,68	P 72	24,55	5,27	19,28
P 111	24,72	3,29	21,43	P 73	22,79	3,41	19,38
P 112	24,69	3,27	21,42	P 74	22,77	3,52	19,25
P 113	25,58	-	-	P 75	22,96	3,54	19,42
P 114	25,36	1,74	23,62	P 76	23,11	3,38	19,73
P 115	24,06	2,69	21,37	P 77	23,73	4,23	19,50
P 116	26,24	4,75	21,49	P 78	23,45	3,74	19,71
P 117	24,68	3,20	21,48	P 79	22,91	3,24	19,67
P 54	21,10	4,34	16,76	P 80	23,32	3,48	19,84
P 55	21,3	4,54	16,82	P 81	23,78	3,91	19,87
P 59	21,06	4,06	17,00	P 82	22,56	2,48	20,08
P 60	21,82	4,89	16,93	P 83	23,22	3,19	20,03

XXXIII

N°	COTE REPERE	DATE	18-8-1965	N°	COTE REPERE	DATE	18-8-1965
P 173	22,71	-	-	P 196	24,90	4,15	20,75
P 174	22,36	3,13	19,23	P 197	25,32	4,56	20,76
P 175	22,37	3,38	18,99	P 198	25,75	4,70	21,05
P 176	22,51	3,58	18,98	P 199	24,44	-	-
P 177	23,16	3,76	19,40	P 319	21,35	2,40	18,95
P 178	22,95	3,85	19,10	P 320	28,28	8,28	20,00
P 179	21,93	2,83	19,10	P 325	23,97	5,03	18,94
P 180	23,24	3,55	19,69	P 326	22,15	3,30	19,85
P 181	23,98	4,60	19,38	P 328	28,99	9,35	19,64
P 182	23,30	4,15	19,15	P 329	28,41	7,31	21,10
P 183	25,75	6,62	19,88	P 332	21,99	2,99	19,00
P 184	22,82	3,28	19,54	P 346	25,85	6,26	19,59
P 185	22,83	3,10	19,73	PA 26	25,44	5,97	19,47
P 186	23,35	3,95	19,40	PA 27	23,46	4,35	19,11
P 187	23,03	3,13	19,90			DATE	19-8-1965
P 188	23,67	3,85	19,82	P 89	23,21	2,33	20,88
P 189	23,87	4,17	19,70	P 90	23,29	2,66	20,63
P 190	24,05	4,05	20,00	P 92	23,99	2,85	21,14
P 191	24,30	4,43	19,87	P 94	23,79	3,11	20,68
P 192	24,53	4,27	20,26	P 95	23,89	3,31	20,58
P 193	24,08	4,03	20,05	P 96	25,39	2,82	22,57
P 194	24,54	4,10	20,44	P 97	24,70	3,29	21,41
P 195	23,75	3,60	20,15	P 98	22,91	1,57	21,34

XXXIV

Nº	COTE REPERE	DATE	19 AOUT	Nº	COTE REPERE	DATE	19 AOUT
		Lecture	côte nappe			Lecture	côte nappe
P 118	17,68	4.88	12.80	P141	18,93	4.46	14.47
P 119	17,90	4.70	13.20	P 142	19,94	5.10	14.84
P 120	18,17	5.40	12.77	P 143	19,18	4.06	15.12
P 121	19,69	6.60	13.09	P 144	19,20	3.70	15.50
P 122	18,63	5.73	12.90	P 145	19,62	3.90	15.72
P 123	18,87	4.77	14.10	P 146	19,89	3.54	16.35
P 124	19,05	4.72	14.33	P 147	19,70	5.70	14.00
P 125	19,41	4.55	14.86	P 148	19,14	5.00	14.14
P 126	19,11	4.07	15.04	P 149	20,45	5.72	14.11
P 127	20,12	6.83	13.29	P 150	19,47	4.50	14.97
P 128	18,05	13.70	14.35	P 151	19,58	4.18	15.40
P 129	18,57	3.67	14.90	P 152	19,90	4.07	15.83
P 130	19,02	3.65	15.37	P 153	20,61	3.61	17.00
P 131	19,50	4.20	15.30	P 154	19,56	6.06	13.50
P 132	20,44	4.85	15.59	P 155	19,15	4.65	14.50
P 133	19,70	3.52	16.18	P 156	19,65	5.27	14.38
P 134	20,71	7.31	13.40	P 157	19,74	5.17	14.57
P 135	19,37	4.30	15.07	P 158	20,01	5.00	15.01
P 136	19,12	3.82	15.30	P 159	19,68	4.40	15.28
P 137	19,11	3.82	15.29	P 160	20,11	4.17	15.94
P 138	18,73	5.00	13.73	P 161	20,53	6.93	13.60
P 139	19,42	4.50	14.92	P 162	20,02	6.17	13.85
P 140	19,54	5.92	13.62	P 163	20,41	6.75	13.66

N°	COTE REPERE	DATE	18-8-1965	N°	COTE REPERE	DATE	18-8-1965
P 84	24,10	4,17	19,93	P 88	23,09	2,78	20,31
P 85	23,16	2,87	20,29	P 91	23,17	2,71	20,46
P 86	21,98	1,64	20,34	PA 14	20,98	3,83	17,15
P 87	23,96	3,52	20,44	PA 15	22,70	3,95	18,75

N°	COTE REPERE	DATE lecture	19 Août côte nappe	N°	COTE REPERE	DATE lecture	19 Août côte nappe
P 164	19,92	-	-	P 171	21,08	4.32	16.76
P 165	20,04	5.30	14.74	P 172	21,65	4.93	16.72
P 166	20,61	-	-	PA 1	18,49	2.26	16.23
P 167	20,27	5.27	15.00	PA 2	19,31	3.96	15.35
P 168	20,87	5.20	15.67	PA 3	18,16	4.10	14.06
P 169	19,62	2.68	16.94	PA 4	20.23	3.33	16.90
P 170	20,91	5.65	15.26	P 331	16.97	4.27	12.70

n° Puits	côte plan d'eau	n° Puits	côte plan d'eau
M.212	22,70	P.81	50,50
M 209	23,40	P 64	48,40
R 203	23,90	P 61	45,40
S.G 215	46,80	P 59	48,30
S.G.263	45,70	P 60	50,40
S.G 219	66,70	P 58	68,30
T 167	71,30	P 56	59,30
R 153	51,30	R 152	53,00
R 156	55,00	R 143	42,20
R 158	51,00	R 189	83,30
R 159	56,30	R 187	55,60
R 164	63,00	R 190	54,40
R 172	55,60	R 182	44,40
R 174	43,50	R 181	83,40
R 175	38,60	P 12	46,50
P 70	43,40	P 10	51,80
P 74	46,00	P 1	49,60
P 91	52,70	P 20	45,70
P 285	51,40	T 169	62,80
		P 30	47,00

DIAGRAMMES SEMI-LOGARITHMIQUES

LÉGENDE

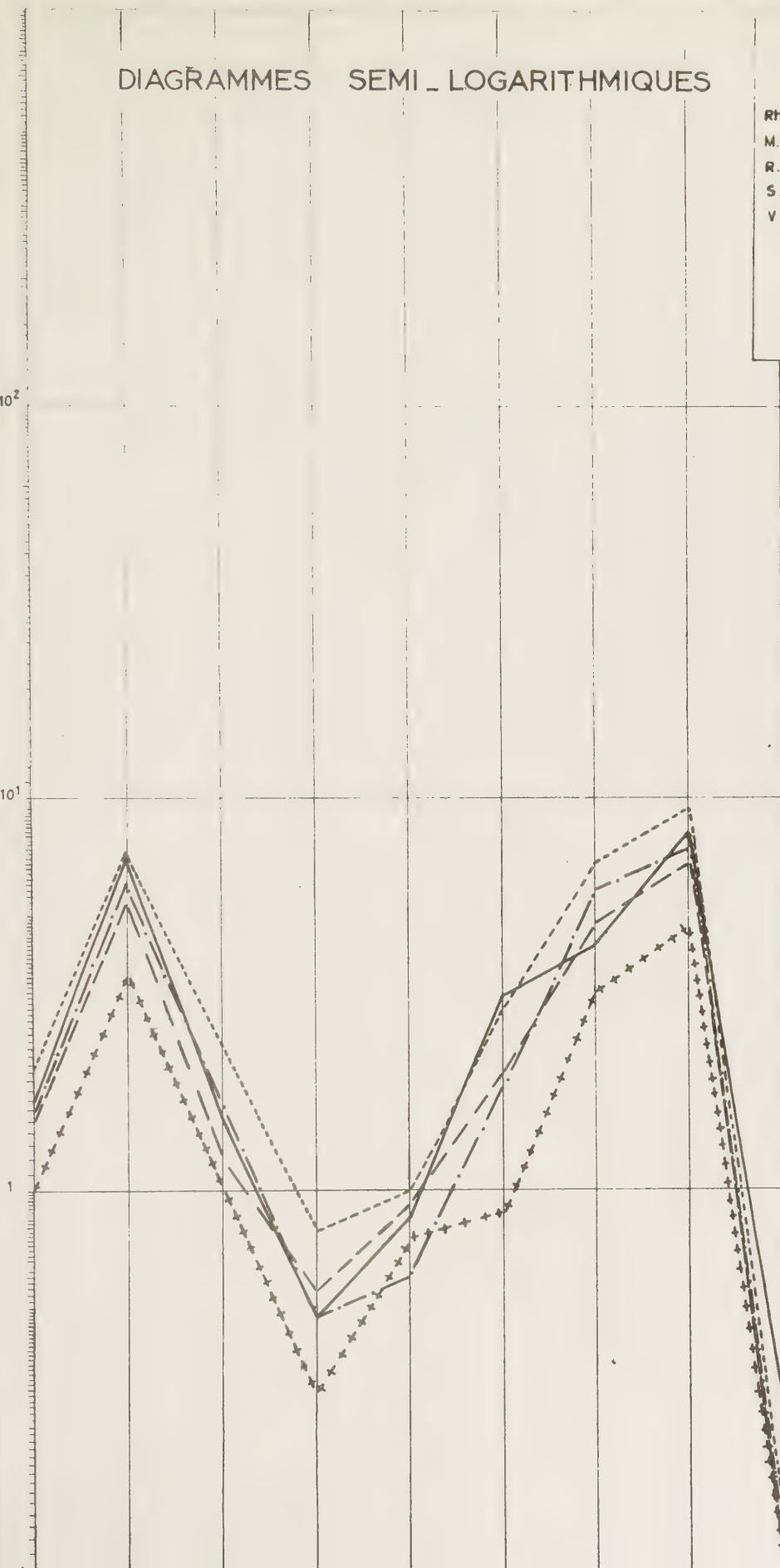
Rhône	+++++	N
M. 208	—	↓
R. 251	- - -	S
S. 223	—	
V. 128	- - - - -	

Fig. 11

10²

10¹

1



DIAGRAMMES SEMI-LOGARITHMIQUES

LÉGENDE

- Nappe phréatique (sablo-argileux)
- - - Nappe phréatique bordure faille de PUJAUT
- . - . - Nappe captive.

Fig. 13

10²

10¹

1

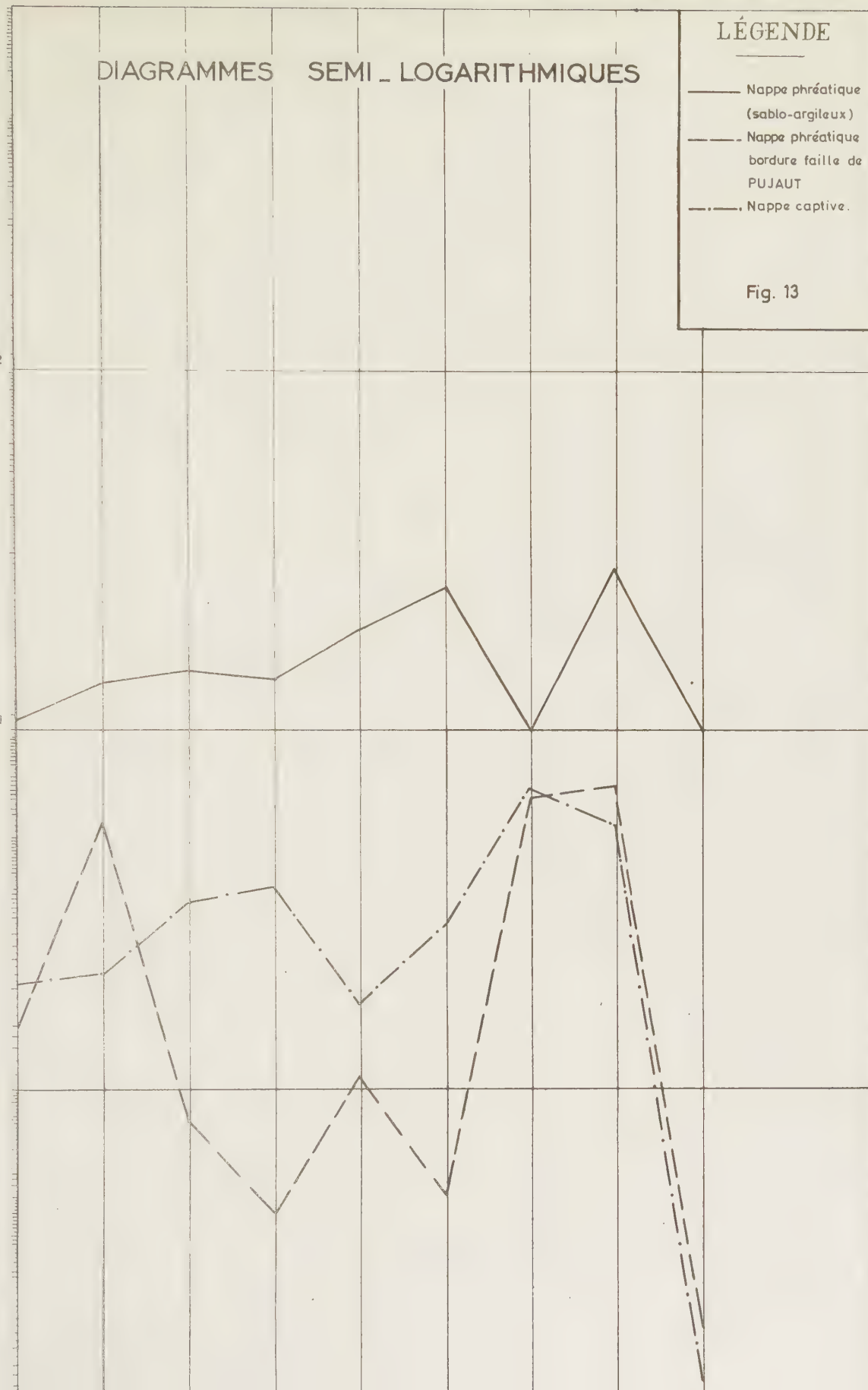
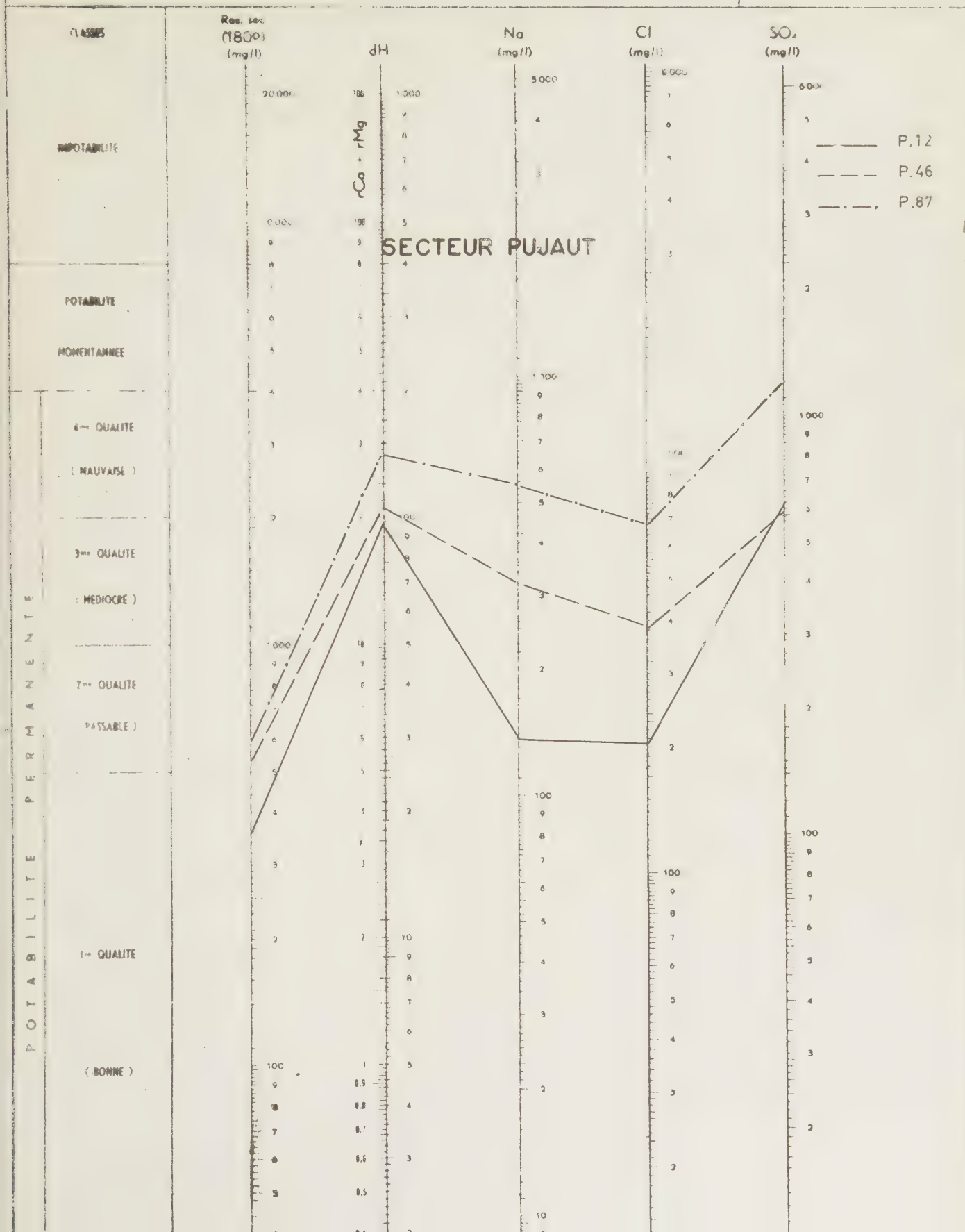


DIAGRAMME DE POTABILITE DES EAUX

(d'après la classification de H. SCHÖLLER)

17



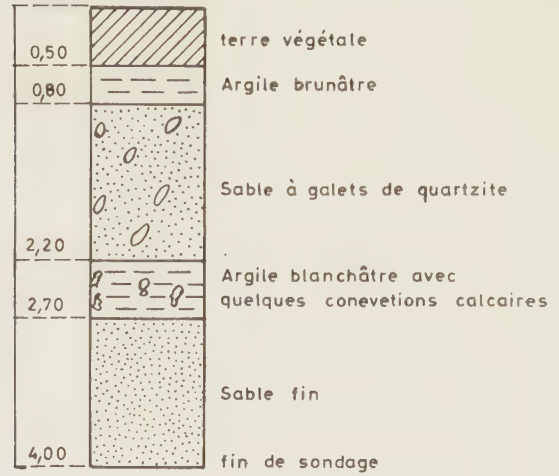
SONDAGES P.C NIMES POUR LA DEVIATION DE LA RN 580

Echelle: 1/50

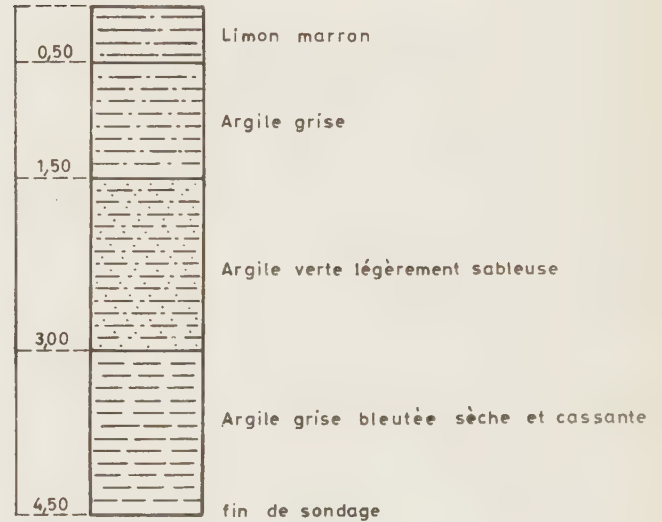
Sondage: n°32



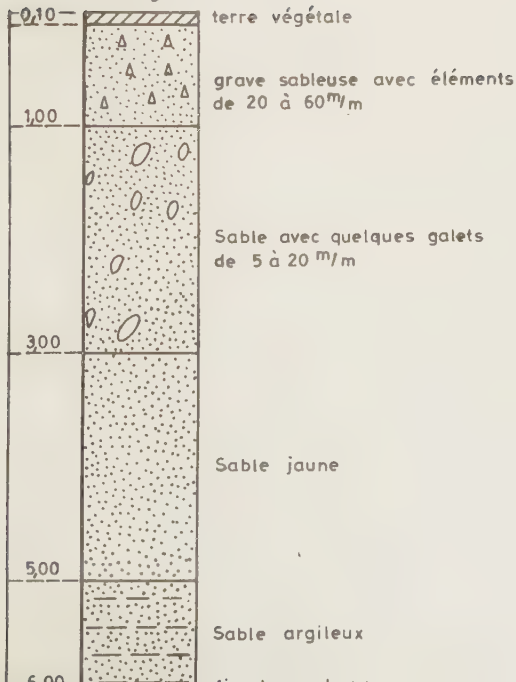
Sondage: rf36



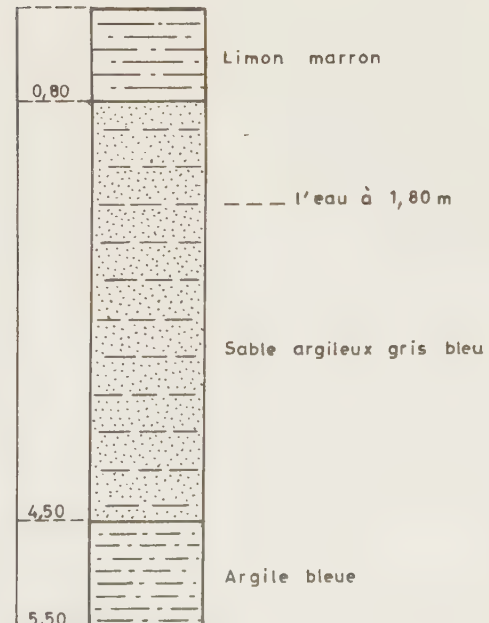
Sondage: n°8



Sondage rf3



Sondage: n°10



DEUXIEME THESE

Proposition donnée PAR LA FACULTE

VU et permis d'imprimer

MONTPELLIER, le

Le Recteur de l'Académie
de MONTPELLIER,

VU et approuvé

MONTPELLIER, le

Le Doyen de la Faculté
des Sciences,

B. CHARLES

